

Engenharia Mecânica para o Desenvolvimento Sustentável – “AUTARKEIA”

Fernando Jorge Pereira Pimenta

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. António Torres Marques

Orientador na FEUP: Prof. Francisco Xavier de Carvalho



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Junho 2014

“[Around the world], women and children spend 40 billion hours a year fetching water. That’s as if the entire workforce of the State of California worked full time for a year doing nothing but fetching water.”

“It is necessary to have a very clear vision of the world that we live in... the world where women spend two to three hours every day grinding grain for their families to eat.”

Amy Smith

*À minha família
e aos meus amigos.*

Resumo

Este projeto foca-se na criação e desenvolvimento de condições sustentáveis para aproveitamento de água por parte de pequenas comunidades locais com problemas de escassez de água. Recorre-se a Tecnologias Apropriadas e materiais naturais de forma a tentar alcançar o objetivo proposto.

Numa fase inicial, considerou-se uma solução de recolha e armazenamento de água que irá alimentar um sistema de irrigação por gotejamento.

De forma a obter uma solução totalmente sustentável foi efetuada uma análise de várias alternativas de fibras e resinas naturais para obter materiais compósitos. Foi escolhida a fibra de sisal e a colofónia, que é um subproduto da resina de pinheiro, para a criação do compósito.

Por fim, apresenta-se um projeto de um possível equipamento artesanal de pultrusão para a produção de tubos localmente e de moldes para a criação dos componentes utilizados no sistema de irrigação. Na conceção do protótipo tentou-se usar geometrias simples e materiais locais, como a madeira.

Como conclusão fica a ideia que o aprofundar do estudo deste tipo de materiais e de aplicações é fundamental para o desenvolvimento de pequenas comunidades, como a de Malonguete, que ainda têm muitas carências e são frequentemente atingidas por desastres naturais. Desta forma conseguem combater melhor alguns tipos de dificuldades que são vividas por eles.

Mechanical Engineering for Sustainable Development - "AUTARKEIA"

Abstract

This project focuses on the creation and development of conditions for sustainable use of water by small local communities with shortages of water. Appropriate use is made of natural materials and technologies to help reach the objective.

Initially, it was considered a solution for collecting and storing water that will feed a system of drip irrigation.

In order to obtain a fully sustainable solution was performed an analysis of several alternatives of natural fibers and resins for composite materials. Sisal fiber and rosin, which is a byproduct of pine resin are used to create the composite.

Finally, it is shown a possible design of a craft pultrusion equipment for the production of pipes and locally creating molds for the components used in the irrigation system. In designing the prototype we tried to use simple geometries and local materials such as wood.

In conclusion is the idea that the further study of this type of materials and applications is critical to the development of small communities, such as Malonguete, who still have many needs and are often hit by natural disasters. This way can better fight some types of difficulties that are experienced by them.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores, Professor António Torres Marques e Professor Francisco Xavier de Carvalho pela disponibilidade total e pela liberdade e flexibilidade perante as ideias que foram surgindo durante o trabalho desenvolvido. Também pela ajuda nas áreas mais técnicas quando foram necessárias. Agradecer também a ajuda e conselhos que me deram de forma a respeitar a propriedade intelectual existente e realizar um trabalho ético.

À Eng. Célia Novo do INEGI pela ajuda e conselhos para a realização dos trabalhos experimentais.

À Ana Teresa Afonso pela paciência e pelos conselhos durante a realização da dissertação.

Ao Eng.º Mário Rui e ao Eng.º Tomé Santos por possibilitarem a visita à empresa ALTO – Perfis Pultrudidos, Lda. e o esclarecimento de alguns assuntos relacionados com o processo.

A todos os meus amigos e colegas, sem exceção.

Por fim, à minha família.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Organização da dissertação	1
1.2	Motivação.....	2
1.3	Descrição do problema.....	2
1.4	Caraterização geral.....	4
2	Revisão bibliográfica	7
2.1	Desenvolvimento sustentável.....	7
2.2	Movimentos humanitários aliados à engenharia	8
2.3	Tecnologias apropriadas	10
2.4	Conceção para o mercado.....	15
2.5	Tecnologias apropriadas de aprovisionamento e distribuição de água.....	16
2.6	Irrigação de pequena escala	18
2.7	Materiais compósitos	19
2.8	Fibras naturais.....	24
2.9	Matri zes naturais.....	26
2.10	Pultrusão.....	27
2.11	Enrolamento filamental.....	31
2.12	Moldação por centrifugação.....	32
2.13	Processo de moldação manual.....	33
3	Desenvolvimento de produto	34
4	Desenvolvimento do conceito	37
4.1	Construção da ideia	37
4.2	Dimensionamento do sistema de irrigação gota-a-gota.....	37
4.3	Dimensionamento.....	39
4.4	Dimensionamento hidráulico.....	40
4.5	Planeamento do espaço.....	41
4.6	Componentes e acessórios.....	42
5	Materiais disponíveis	43
5.1	Sisal43	
5.2	Resina de colofónia.....	44
6	Trabalhos experimentais	48
6.1	Introdução.....	48
6.2	Testes de solubilidade da resina.....	49
6.3	Criação de moldes.....	50
6.4	Desmoldantes	51
6.5	União dos componentes	51
6.6	Determinação do número de fibras para produzir um tubo	51
6.7	Determinação da largura da manta de reforço	52
6.8	Requisitos	52
6.9	Diferentes soluções e dificuldades	52
6.10	Solução encontrada	53

6.11	Modo de funcionamento do sistema.....	59
6.12	Cuidados de manutenção do sistema.....	60
6.13	Riscos e medidas de segurança.....	60
7	Tecnologias apropriadas	62
7.1	Redução dos custos do sistema de irrigação e da atividade envolvente	62
7.2	Breves sugestões para melhoria do bem-estar.....	64
7.3	Obtenção de água potável	64
7.4	Implementação no local.....	67
7.5	Como construir um conjunto de ferramentas	67
8	Conclusões e trabalhos futuros	70
9	Referências e Bibliografia	71
ANEXO A:	Mapa de Moçambique ("Mapa de Moçambique")	75
ANEXO B:	Carta de solos de Moçambique (Sá 1972)	76

Índice de figuras

Figura 1 – Comunidade Malonguete (divingincommunities).....	3
Figura 2 – Mapa das províncias de Moçambique (A grama da vizinha 2014).....	4
Figura 3 – Planta do centro comunitário de Malonguete (Afonso 2013)	5
Figura 4 – Construção da escola primária em Malonguete (divingincommunities).....	6
Figura 5 – Lifestraw® (lifestraw)	11
Figura 6 – Filtro LifeStraw® com maior capacidade (lifestraw)	12
Figura 7 – Amy Smith a demonstrar a criação de <i>charcoal</i> a estudantes (MIT News 2012)...	12
Figura 8 – Etapas de produção de um <i>briquete</i> (Massachusetts Institute of Technology)	14
Figura 10 – Exemplos de produtos lifesaver® (<i>jerrycan</i> e <i>bottle</i>) (LIFESAVER Systems Ltd 2007)	15
Figura 9 – <i>Playpump</i> ® (Warner e Seremet 2008)	15
Figura 11 – Esquema de funcionamento da <i>rope pump</i> (<i>demotech</i>) (mawama) (<i>demotech</i>) ...	17
Figura 12 – Bomba <i>rower</i> (<i>Corps 1994</i>)	18
Figura 13 – Esquema de um sistema de irrigação de pequena escala (Envis centre 2003)	19
Figura 14 – Classificação dos materiais compósitos quanto à matriz	20
Figura 15 – Fases de um material compósito (Cerqueira 2008)	20
Figura 16 – Classificação de materiais compósitos segundo o reforço (Daniel e Ishai 2006) .	22
Figura 17 – Classificação das fibras naturais (Franck 2005).....	26
Figura 18 – Representação esquemática do processo de pultrusão (Zhu et al. 2004)	27
Figura 19 – Representação da mudança de fase de um compósito termoendurecível no interior do molde aquecido (Baran, Tutum, e Hattel 2013)	28
Figura 20 – Detalhe do sistema de guiamento das fibras (<i>martinpultrusion</i>)	28
Figura 21 – Diagrama esquemático do processo de pultrusão (Silva et al. 2014)	29
Figura 22 – Detalhe das resistências no molde (Silva et al. 2014)	29
Figura 23 – Desperdícios e perfis que não passam nos testes de qualidade (Meira Castro et al. 2014).....	30
Figura 24 – Imagens de estruturas realizados com peças pultrudidas (ALTO - Perfis Pultrudidos).....	30
Figura 25 – Esquema do processo de enrolamento filamentar (Abdalla et al. 2007)	31
Figura 26 – Esquema do processo da moldação por centrifugação (Crawford, Crawford, e Throne 2001).	32
Figura 27 – <i>Layout</i> de um sistema simples de irrigação por gotejamento (Burt et al. 2007) ...	38
Figura 28 – Esquema de um sistema de irrigação (Testezlaf 2011)	38
Figura 29 – Gotejador (Testezlaf 2011).....	40
Figura 30 – Distribuição da humidade no solo a partir de um emissor (Testezlaf 2011)	41

Figura 31 – Exemplo de um <i>layout</i> das áreas de cultivo (System).....	41
Figura 32 – (à esquerda) Acessório curva 90° (à direita) Acessório curva 90° sem reentrâncias.	42
Figura 33 – Exemplos de redução do número de acessórios	42
Figura 34 – A planta de sisal (Wikipedia)	43
Figura 35 – Estrutura básica ($C_{20}H_{30}O_2$) (Olivares-Pérez et al. 2005)	44
Figura 36 – Correspondência da cor <i>Gardner</i> com o grau da resina colofónia. ("Resina de colofónia")	45
Figura 37 – Esquema dos processos de alteração da resina de colofónia ("Resina de colofónia")	46
Figura 38 – Máquina de pultrusão do Inegi (INEGI 2011)	48
Figura 39 – Manta utilizada nos testes	49
Figura 40 – Resultados obtidos (100% colofónia; colofónia com acetona; colofónia com álcool)	50
Figura 41 – Exemplo de um protótipo de um molde	50
Figura 43 – Pormenor do suporte dos veios que suportam os rolos de fibra	54
Figura 42 – Imagem da máquina de pultrusão artesanal	54
Figura 44 – Exemplo de esquema de colocação dos rolos	55
Figura 45 – Imagem do suporte das bobines	55
Figura 46 – Esquema simplificado da distribuição das fibras ⁷	56
Figura 47 – Zona do tanque da resina.....	56
Figura 48 – Pormenor do local onde é colocada a fieira (sem fieira à esquerda, com fieira à direita)	57
Figura 49 – Zona da fieira	57
Figura 51 – Zona de tração	58
Figura 50 – Garra	58
Figura 53 – Máquina completa (Desenho 2D e 3D)	59
Figura 52 – Detalhe da calha	59
Figura 54 – Condensador de água (Clube de Montanhismo de Braga 2012)	64
Figura 55 - Saco de vegetação (Clube de Montanhismo de Braga 2012)	65
Figura 56 – Recolha da água da chuva (Clube de Montanhismo de Braga 2012).....	65
Figura 57 - Filtro artesanal (Clube de Montanhismo de Braga 2012)	66
Figura 58 – Desinfecção solar na Indonésia (Wikipedia)	66
Figura 59 – Tampa para parar o funcionamento do sistema de rega	67
Figura 60 – Exemplo do funcionamento da bóia	67
Figura 62 – Bomba de corda operada com uma bicicleta (Maya pedal 2010)	68

Figura 61 - Algumas ferramentas artesanais (Engineering for Change 2012)	68
Figura 63 – Máquina de moldação por centrifugação em madeira (Steele 2014)	68
Figura 64 – Exemplo de um torno manual	69

Índice de tabelas

Tabela 1 – Eficiência do reforço das fibras no compósito para alguns ângulos de orientação de fibra em relação à aplicação da tensão (AL-QURESHI 1988).....	24
Tabela 2 – Comparação de algumas propriedades de fibras naturais com a fibra de vidro. (Franck 2005).....	25
Tabela 3 – Produção mundial de algumas fibras naturais (Faruk et al. 2012).....	26
Tabela 4 – Propriedades mecânicas do Sisal ("CES Edupack 2013" 2013).....	44
Tabela 5 – Propriedades da resina colofónia fornecida pela Eurochemicals Portugal S.A (Afonso 2013).....	46
Tabela 6 – Propriedades mecânicas da colofónia (Afonso 2013).....	47

1 Introdução

1.1 Organização da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em oito capítulos.

No capítulo 1 introduz-se o tema e as características do local para onde este trabalho foi idealizado, no âmbito do projeto *Autarkeia*.

No capítulo 2 mostra-se uma recolha bibliográfica de alguns temas ligados à execução deste projeto. Apresentam-se alguns conceitos como desenvolvimento sustentável, tecnologias apropriadas, algumas organizações portuguesas e mundiais ligadas aos problemas do desenvolvimento e sustentabilidade, a tecnologia de irrigação e materiais compósitos. Apresentam-se, também, alguns processos de fabrico de materiais compósitos como a pultrusão e o enrolamento filamentar.

No capítulo 3 apresenta-se o conceito de desenvolvimento de produtos.

No capítulo 4 apresenta-se o desenvolvimento do conceito, expõe-se a origem da ideia e apresentam-se os dimensionamentos do sistema de irrigação.

No capítulo 5 são descritos os materiais utilizados, explica-se o porquê do interesse na sua utilização no âmbito deste projeto e apresenta-se uma breve descrição dos mesmos.

No capítulo 6 descrevem-se os trabalhos experimentais realizados no âmbito do desenvolvimento deste projeto, nomeadamente do desenho dos moldes e da máquina artesanal para a criação dos tubos.

No capítulo 7 estuda-se a possibilidade de aplicação de algumas tecnologias apropriadas de forma a melhorar a qualidade de vida nas comunidades.

No capítulo 8 apresentam-se as conclusões e sugerem-se trabalhos futuros.

1.2 Motivação

Uma das motivações foi o aprofundar do conhecimento sobre os materiais compósitos. Hoje em dia é uma das áreas da engenharia mecânica em maior desenvolvimento. Procura-se o conhecimento das propriedades dos materiais envolvidos quando se define uma estrutura e tenta-se compreender como ela irá responder à solicitação. O aparecimento de novos compósitos devido ao desenvolvimento dos vários tipos de processos de fabrico, implica conhecer os seus benefícios e as desvantagens no que diz respeito aos processos, os materiais envolvidos, o design e o custo. A possibilidade de contribuir para o desenvolvimento de um local que está muito dependente é também um fator muito motivante para mim. O tema do desenvolvimento sustentável é também um assunto que está muito atual nos dias que correm.

1.3 Descrição do problema

Após ler a proposta do projeto final e a sua descrição, comecei por tentar obter o máximo de informação sobre o que era o projeto *Autarkeia*. A informação sobre o modo de operação da associação foi obtida a partir da leitura da dissertação da Ana Teresa Afonso (Afonso 2013). O objetivo do projeto *Autarkeia* é minimizar situações de pobreza extrema e contribuir para o acesso à educação, aos serviços básicos de saúde e a condições de vida dignas. O projeto *Autarkeia* é um programa de desenvolvimento da comunidade rural de Malonguete, que se encontra situada num local isolado, no distrito de Chicualacuala em Moçambique. O objetivo passa por criar técnicas de desenvolvimento sustentáveis que permitam dotar essas comunidades de um *know-how*, de forma a no futuro poderem tirar proveito dos recursos locais e aplicá-los no seu próprio benefício e crescimento. Este projeto foi iniciado por uma organização de estudantes, a EpDAH ¹ em 2009. A organização conta com o apoio de alguns docentes do DEMec (Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP), que auxiliam na colaboração técnica. Membros voluntários da associação EpDAH deslocaram-se à aldeia de Malonguete durante um ou dois meses, e averiguam as reais necessidades da população (Afonso 2013) (ADN FEUP 2011). Numa destas visitas surge o interesse em criar um sistema de moagem mecânico sem recurso a energia elétrica, que é inexistente na aldeia, de forma a aliviar a carga de trabalho associada à população feminina, que é a responsável pela tarefa de moagem do milho. No entanto, em Agosto de 2012, a equipa refere que a população vivia

¹ EpDAH – Engenharia para o Desenvolvimento e Assistência Humanitária

uma situação grave de fome. Devido a um ano extremamente seco a agricultura local foi extremamente afetada, fazendo com que houvesse uma drástica queda na produção. Esta situação conduziu a uma alteração de prioridades do projeto *Autarkeia* que levou a que o sistema de moagem ficasse parado por algum tempo. A prioridade passa a ser a captação e o armazenamento de água que irá ser utilizada na agricultura, reduzindo assim os riscos associados a esta atividade devido à imprevisibilidade climática.



Figura 1 – Comunidade Malonguete (divingincommunities)

Deste modo pretende-se assegurar as condições necessárias para garantir uma produção agrícola constante. Não fazia sentido aplicar os esforços no problema de moagem quando, por vezes, há falha de sementes. Para resolver o problema de segurança alimentar é necessário equacionar a situação em questão, fazer uma análise do local e do seu clima e tentar compreender as reais necessidades dos utilizadores. Utilizou-se a metodologia do desenvolvimento do produto com algumas ressalvas, já que é um projeto com algumas características muito próprias e com um público-alvo muito particular.

Ao realizar esta dissertação, espera-se dar uma contribuição, criando um conjunto de conceitos para a resolução de problemas como a falta de água e a insegurança alimentar, não só na zona de Malonguete mas também noutras zonas do globo que são cada vez mais afetadas por este tipo de dificuldades. Ao utilizar recursos locais no desenvolvimento dos conceitos reduz-se os impactos sociais e económicos e promove-se o desenvolvimento destas pequenas comunidades. Pretende-se também alertar para a consciencialização social por parte da população para estas situações de forma que no futuro existam cada vez mais grupos de ajuda.

Para a criação dos vários conceitos analisaram-se algumas ideias de tecnologias apropriadas que pudessem ser aplicadas no aproveitamento de água.

1.4 Caraterização geral

Moçambique localiza-se na costa leste da África Austral. O país estende-se por uma superfície de 799 380 km² (cerca de 98% de terra firme e apenas 2% de águas interiores). Os principais rios são: o Zambeze (820 km), o Rovuma (650 km), o Lúrio (605 km), o Messalo (530 km) e o Maputo (150 km), entre outros. O local em questão onde se realiza o projeto *Autarkeia* situa-se no distrito de Chicualacuala. O distrito de Chicualacuala situa-se a Norte da Província de Gaza, fazendo fronteira, a norte, com a República de Zimbabwe. Podemos ver mais em detalhe (ver ANEXO A) a localização do distrito de Chicualacuala.



Figura 2 – Mapa das províncias de Moçambique (A grama da vizinha 2014)

Como referência da posição da aldeia de Malonguete temos a localização da aldeia de Mahatlane (21°58'07''S e 32°06'47''E) que fica situada a apenas 12 km de distância (Afonso 2013).

O clima de Moçambique é tropical seco, representado por duas estações bem distintas, uma estação fria e seca, de Maio a Setembro que abrange o Inverno e outra quente e húmida entre Outubro e Abril que abrange o período de Verão. A precipitação é mais abundante no centro e norte do país, com valores que variam entre 800 e 1200 mm por ano, com uma média anual de

492 mm. O sul é em geral seco e a precipitação diminui até cerca de 300 mm. As temperaturas médias do ar variam entre 25°C e 27°C no verão e 20°C e 23°C no inverno.

A população é de cerca de 24 milhões de habitantes, sendo que a maior parte vive nas zonas rurais, distante das principais vias de comunicação. Em 2010 a taxa de analfabetismo era cerca de 52%. A população moçambicana é então predominantemente rural e bastante pobre ("Portal de dados Moçambique" 2010).

A área de cultivo em 2007 rondava cerca de 6000 ha. A superfície coberta com florestas estima-se em cerca de 40 milhões de ha, das quais 22,5 milhões são florestas densas e 16,4 milhões florestas abertas (FAO 2009).

O solo é uma massa complexa de minerais e de matéria orgânica com uma estrutura que contém água, ar e solutos (Goyal 2012). O tipo de solo existente em Moçambique pode ser visto na carta de solos da região (ver ANEXO B). A agricultura é a base do desenvolvimento Nacional e o Estado promove e garante o seu desenvolvimento (van der Zaag et al. 2010). Na prática da agricultura não é comum fazer-se a rotação das culturas devido à abundância de terra para se abrir novas hortas. No entanto, quando se arrancam árvores para criar áreas de cultivo, não dá certo, pois o tipo de solo existente necessita de um equilíbrio muito assente.

A comunidade de Malonguete está estabelecida a cerca de 12 km da aldeia de Mahatlane que é uma aldeia com maiores dimensões, na qual se encontra o hospital mais próximo. No centro comunitário da aldeia de Malonguete existem três salas de aula, uma horta comunitária, um posto de saúde e três casas de professores (Afonso 2013).

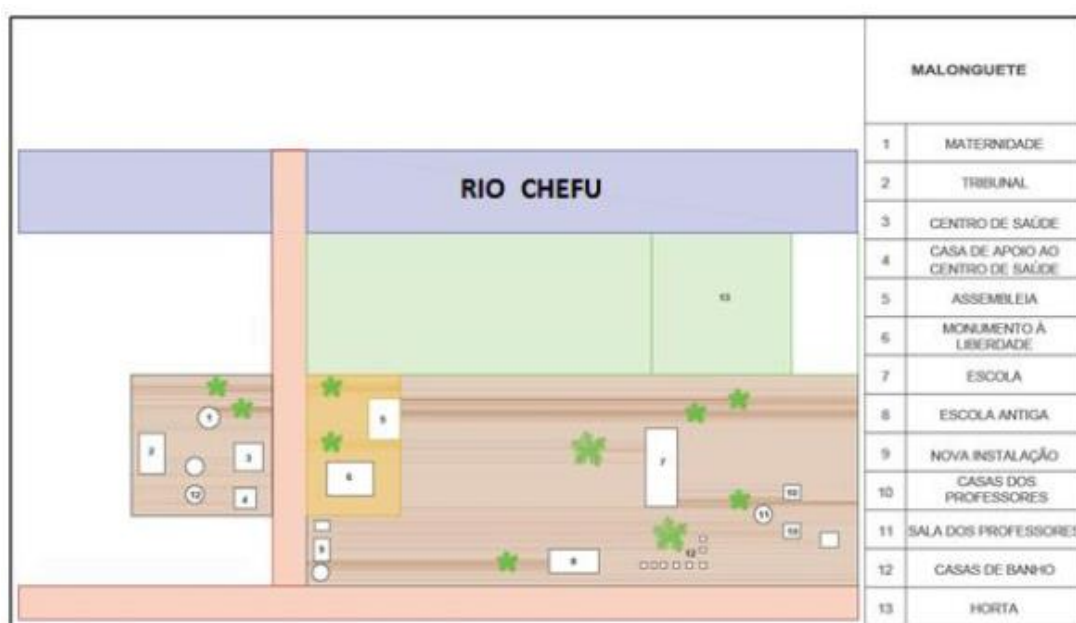


Figura 3 – Planta do centro comunitário de Malonguete (Afonso 2013)

A comunidade de Malonguete completou a construção de uma sala de aula de 35 m² em Setembro de 2010 com a colaboração da associação EpDAH. A sala está localizada no centro e o espaço foi projetado para garantir níveis aceitáveis de conforto e de qualidade do ar no interior.



Figura 4 – Construção da escola primária em Malonguete (divingincommunities)

2 Revisão bibliográfica

O projeto enquadra-se principalmente nas áreas do desenvolvimento sustentável, das tecnologias apropriadas e do uso de materiais de origem natural em materiais compósitos. De seguida reúne-se a pesquisa bibliográfica sobre os temas referidos.

Um dos objetivos desta proposta de trabalho é a realização do projeto, tendo em conta o seu enquadramento no desenvolvimento sustentável e “tecnologias apropriadas”, tendo em conta o âmbito do mesmo e do local onde será aplicado. Por outras palavras, o projeto deverá utilizar o conceito de “Tecnologias Apropriadas” (Amy Smith – MIT D-Lab).

Este projeto integra-se na criação e promoção de novos ciclos de desenvolvimento em comunidades de pequena dimensão, enriquecendo as competências destas populações e da sua envolvente e dotando-as de recursos mas, acima de tudo, capacitando-as para assumirem a partir daí a responsabilidade do seu próprio desenvolvimento, minimizando situações de pobreza extrema e contribuindo para o acesso à educação, aos serviços de saúde e a condições de vida dignas. Este projeto requer a concretização integrada de diversas ações de Engenharia enquadrada numa visão de desenvolvimento rural das comunidades objeto de intervenção, com a colaboração de voluntários da EpDAH – Engenharia para o Desenvolvimento e Assistência Humanitária.

Outro dos objetivos é mostrar a interdisciplinaridade entre a área da engenharia e a das ciências sociais.

2.1 Desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável é um conceito que passa pela obtenção de um crescimento económico, garantindo a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social para o presente e para as gerações futuras. Portanto, para que aconteça um desenvolvimento sustentável é necessária uma harmonização entre o desenvolvimento económico, a

preservação do meio ambiente, a justiça social, a qualidade de vida e o uso racional dos recursos da natureza (principalmente a água). Apesar dos grandes avanços na agricultura, os conhecimentos e práticas utilizadas demoram a chegar às pequenas comunidades (Pretty 2002).

Hoje em dia a agricultura tem um papel “destrutivo” sobre a natureza, é muito dependente de combustíveis fósseis (no caso da agricultura industrializada), reduz a biodiversidade selvagem, erode e contamina os solos e polui a água e a atmosfera. Felizmente existem alternativas, que consistem na criação de sistemas agrícolas adaptados localmente, fazendo um uso otimizado dos ecossistemas.

No contexto desta dissertação, pode-se referir o tema da agricultura sustentável em oposição à agricultura convencional. A agricultura é uma atividade que depende de condições e processos naturais que são alheios à vontade e ao controlo humano, tais como o clima, o solo, as interações entre as plantas e outros seres vivos (Sivakumar e Motha 2008). A agricultura sustentável tenta fazer o melhor uso das condições existentes, adaptando as culturas ao clima e ao solo existentes nos locais e produzindo alimentos com um impacto ambiental mínimo (Pretty 1995).

2.2 Movimentos humanitários aliados à engenharia

Existem várias ligações entre o movimento humanitário e a engenharia ao longo do tempo. Essas ligações são das mais variadas, e passam pelo apoio a situações de catástrofe, ao desenvolvimento, à procura de soluções, à proteção de património e à proteção do meio ambiente, entre muitas mais. Em seguida, apresentam-se algumas destas organizações de forma a mostrar o trabalho desenvolvido pelas mesmas.

D-Lab

O D-Lab é um projeto que une uma rede de colaboradores num desafio comum: projetar e difundir tecnologias que melhorem significativamente a vida das pessoas que vivem numa situação de pobreza. A missão deste programa é difundir desenvolvimentos tecnológicos e organizar iniciativas comunitárias, através de cursos interdisciplinares, que promovem a aprendizagem de uma forma prática e a criação de lideranças comunitárias em projetos da vida real. Esta organização foi fundada por Amy Smith, uma professora com formação na

área da engenharia mecânica. Amy Smith está também ligada ao desenvolvimento de várias tecnologias, incluindo sistemas de teste e tratamento de água, máquinas agrícolas, dispositivos médicos e ainda a produção de briquetes feitos a partir de desperdícios. De referir que os cursos e os projetos D-Lab estão ligados a comunidades presentes em todo o mundo (Massachusetts Institute of Technology).

EpDAH

A Engenharia para o Desenvolvimento e Assistência Humanitária (EpDAH) é uma associação organizada em núcleos dinamizados por voluntários. A EpDAH assume como missão a promoção do desenvolvimento humano através do exercício de uma atividade profissional voluntária e solidária no domínio da Engenharia. O projeto da EpDAH em Malonguete denomina-se *Autarkeia* e teve início em 2009. Os objetivos deste projeto passavam pela criação de algumas infra-estruturas (como salas de aula e um centro de saúde) e criação de mecanismos que levassem a um desenvolvimento local. O modo de operação da associação passa pelo envio de equipas de voluntários de forma a dar continuidade ao trabalho desenvolvido por equipas anteriores. Ao longo do tempo são feitas análises de forma a averiguar se as necessidades da população local estão a ser satisfeitas e os projetos são continuamente ajustados. O envolvimento da população local é extremamente importante, pois um dos objetivos é também o de a dotar de ferramentas que permitam a sua autonomia (Afonso 2013).

EWB

A associação engenheiros sem fronteiras (*Engineers Without Borders*) foi criada nos anos 90. A sua missão é a colaboração e a permuta de informações e assistência entre os seus grupos membros, que estão espalhados pelo globo. Esses grupos ajudam comunidades pobres de vários países. A ajuda é dada através da educação e da implementação de projetos de engenharia sustentável, bem como promovendo a experiência global dos engenheiros e estudantes de engenharia (Engineers Without Borders International).

Engineering for Change (E4C)

A E4C é uma comunidade de engenheiros, cientistas, várias organizações e governos locais, cuja missão é melhorar a qualidade de vida das comunidades em todo mundo, facilitando o desenvolvimento de soluções acessíveis e de tecnologias apropriadas e sustentáveis (Engineering For Change).

Quercus

A Quercus é uma Organização Não Governamental de Ambiente (ONGA) portuguesa fundada em 1985. É uma associação constituída por cidadãos que lutam pela conservação da natureza e dos recursos naturais e na defesa do ambiente em geral, numa perspetiva de desenvolvimento sustentado (Quercus).

Water for life

A Water for life é uma organização com sede nos Estados Unidos da América, que opera através de pessoas voluntárias que utilizam o conhecimento de tecnologias apropriadas, a educação e pesquisa de forma a identificar e resolver problemas de água em algumas comunidades. A missão desta organização não se fica pelo fornecimento de água potável aos necessitados, mas consiste também em treinar e educar as comunidades a aproveitar e manter os seus próprios recursos hídricos (Water for Life Institute 2014).

2.3 Tecnologias apropriadas

O termo tecnologia apropriada é definido como uma tecnologia facilmente utilizável a partir de recursos prontamente disponíveis pelas comunidades locais para atender às suas necessidades.

O mundo está a crescer exponencialmente, o que corresponde a um grande crescimento populacional e também um grande da quantidade de informação. Essa quantidade de seres humanos cria novas tecnologias a um ritmo cada vez maior.

As tecnologias apropriadas podem variar desde técnicas de jardinagem até à criação de energia. Há muitas maneiras de reinventar uma tecnologia para torná-la adequada a uma área

em desenvolvimento. De seguida vamos destacar algumas dessas tecnologias que poderão ser aplicadas em diversas situações.

Lista de aplicações de tecnologias apropriadas:

- Filtragem de água
- Purificação de água
- Recolha de água
- Armazenamento de água
- Técnicas de bombeamento de água
- Técnicas de perfuração para captação de água
- Preparação de alimentos de forma energética eficiente
- Iluminação de forma energética eficiente
- Aquecimento de forma energética eficiente
- Jardinagem vertical
- Irrigação por gotejamento
- Compostagem
- Reciclagem e reutilização de resíduos materiais
- Criação de abrigos eficientes
- Desenvolvimento de materiais de construção ecológicos
- Utilização de energias renováveis

Podemos referir alguns inventos e técnicas que se destacam:

- A *Lifestraw*®, que é um filtro de água portátil que melhora a qualidade da água. À medida que se bebe através da *Lifestraw*®, a água atravessa os filtros (Fridell 2008). Estes filtros



Figura 5 – Lifestraw® (lifestraw)

conseguem remover grande parte das bactérias e parasitas transmitidos pela água e a sua versão mais pequena tem capacidade para filtrar a quantidade de água suficiente para uma pessoa durante um ano, cerca de 1000 litros.

Existem também filtros maiores, com maior capacidade de filtragem, que podem ser utilizados em pequenas comunidades.



Figura 6 – Filtro LifeStraw® com maior capacidade (lifestraw)

- Amy Smith, em conjunto com o D-Lab, desenvolveram um combustível cuja queima é mais limpa, para que este possa ser utilizado para cozinhar em ambientes fechados, reduzindo os riscos para a saúde. O *charcoal*, como é conhecido, utiliza matérias-primas locais para a produção de *briquetes*. Mais de 2 milhões de pessoas utilizam madeira, carvão ou resíduos provenientes da agricultura como combustível primário na cozinha ou no aquecimento, que levam a consequências significativas para a saúde, economia e o meio ambiente. A queima destes materiais leva à produção de fumos tóxicos que contêm poluentes cancerígenos. A aspiração destes fumos provoca infeções respiratórias que podem levar à morte. As mulheres e crianças são em geral mais expostas a estes níveis de poluição.



Figura 7 – Amy Smith a demonstrar a criação de *charcoal* a estudantes (MIT News 2012)

Em 2012 o D-Lab, no MIT, desenvolveu uma solução diferente para a criação de *briquetes*. Desenvolveu um processo de transformar os resíduos da agricultura em carvão, um combustível para cozinhar que é mais acessível economicamente e mais saudável que a madeira. Foi desenvolvido o conceito e foram produzidos vários protótipos para a produção dos *briquetes*. É necessário apenas um bidão (10 €) e uma pequena prensa manual (1 €) para se conseguir uma produção de 10-15 *briquetes* por minuto. O desenvolvimento dos protótipos levou a uma evolução da produção de 4-5 até uma produção de 10-15 *briquetes* por minuto. A terceira iteração reduziu drasticamente a quantidade de material, tornando mais simples construir a prensa manual e permitiu também aumentar a cadência de produção. (Massachusetts Institute of Technology)

“If you want to make something 10 times as cheap, remove 90% of the material” – Amy Smith

O D-Lab começou por utilizar, como desperdícios no processo de criação dos *briquetes*, o bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto da exploração da cana-de-açúcar. O processo consiste em iniciar a queima dos detritos num recipiente resistente ao fogo e tapar passado algum tempo para cortar a fonte de oxigénio e promover a carbonização. (Smith 2009)

As imagens seguintes demonstram as etapas de obtenção dos *briquetes*.

1. Colocam-se os desperdícios obtidos na prática da agricultura no bidão de óleo;
2. Carboniza-se através da queima dos desperdícios;
3. Obtém-se os desperdícios carbonizados;
4. Tritura-se até se obter um pó;
5. Mistura-se com água;
6. Compacta-se a mistura para criar os *briquetes*.



Figura 8 – Etapas de produção de um *brique* (Massachusetts Institute of Technology)

- A *PlayPump*®, é uma bomba de extração de água que utiliza a energia produzida pelo movimento de uma espécie de carrossel. A ideia surgiu em 1989 na África do Sul, e desde então tem sofrido vários desenvolvimentos. Da ideia da bomba inicial surgiu um sistema mais complexo, com um reservatório de água com maior capacidade em que foi aproveitado o seu espaço exterior para divulgação de anúncios e apresentação de mensagens educacionais. Parte das receitas da publicidade é usada para suportar as despesas do sistema. No ano de 1997 já havia cerca de 20 sistemas instalados e mais de 50 planeados. A solução ganhou um reconhecimento mediático quando, em 1999, o Presidente Nelson Mandela participou na cerimónia de abertura de uma nova escola com um destes sistemas. Em 2007 já existiam cerca de 900 sistemas instalados em países como África do Sul, Moçambique, Suazilândia e Zâmbia (Warner e Seremet 2008).



Figura 9 – Playpump® (Warner e Seremet 2008)

- Lifesaver® é uma empresa britânica que foi fundada em 2007 por Michael Pritchard. A ideia da criação de uma garrafa capaz de filtrar a água (o primeiro produto da empresa, a *lifesaver bottle*), aconteceu depois dos sérios problemas resultantes da falta de água potável após o trágico tsunami na Ásia em 2004 e o furacão Katrina nos EUA em 2005. Foram surgindo novos produtos que vieram ao encontro das necessidades dos mercados de lazer, militar e humanitário.

“Everyone deserves safe drinking water” – Michael Pritchard, 2007



Figura 10 – Exemplos de produtos lifesaver® (jerrycan e bottle) (LIFESAVER Systems Ltd 2007)

2.4 Conceção para o mercado

O desenvolvimento de tecnologias apropriadas, por si só, não basta para a resolução dos problemas de uma forma sustentável e duradoura. Um dos pontos importantes é a garantia da

auto-suficiência das comunidades a longo prazo e por vezes os entraves económicos dificultam a aplicação de algumas ideias de uma forma eficaz. Outro aspeto é a variabilidade dos diversos tipos de problemas e o facto de se ter de adaptar as ideias aos diversos locais e problemas. Ou seja, o projeto de uma tecnologia apropriada é por si só uma condição necessária mas não suficiente. Falta então criar todo um plano de sustentabilidade do projeto, com financiamento e formação, para que haja continuidade.

2.5 Tecnologias apropriadas de aprovisionamento e distribuição de água

A falta de água é um problema ambiental que afeta diversos países em desenvolvimento, particularmente em regiões semiáridas e sub-húmidas. Existem várias abordagens a estes problemas de forma a tentar a sua resolução, vários processos possíveis de obtenção e recolha da água e vários tipos de armazenamento. A escassez de água é uma realidade no mundo e é uma ameaça para a produção de alimentos que tem de ser capaz de suportar as necessidades da procura para um crescimento e uma melhor saúde da população (Molden et al. 2011).

Uma das possibilidades é o aproveitamento de águas pluviais, recolhendo a água proveniente das chuvas e aproveitando-a para a agricultura ou uso doméstico. É uma técnica que, com um planeamento inicial eficaz, não acarreta custos e é de fácil manutenção, estando porém muito dependente das condições atmosféricas e por isso apresentando grande variabilidade, pelo que é aconselhado ter outras fontes para as reservas (Calzadilla et al. 2014).

Outro método é a construção de barragens ou diques aproveitando o curso natural da água. Este método exige a construção de uma infra-estrutura que bloqueia o curso da água e forma uma bacia de água que é mantida durante os períodos de seca.

Os reservatórios são a alternativa mais polivalente, em termos de tamanho, para o armazenamento de água. É possível a construção de um grande reservatório com ligações a reservatórios mais pequenos espalhados pelas aldeias nos locais necessários. A utilização da água presente nos reservatórios pode ser efectuada por ação de uma bomba ou simplesmente utilizando a gravidade.

Para a recolha de água existem inúmeros métodos e alternativas, porém vamos dar mais ênfase a métodos menos sofisticados. Mais uma vez os métodos apresentados são dependentes das condições do terreno, do tipo de solo, da proximidade ou não de cursos de água, a existência ou não de energia e de ferramentas.

- A bomba de corda, *rope pump*, é um dos sistemas mais utilizados pelas comunidades rurais, devido à facilidade de construção e de implementação. Mesmo a nível de materiais é uma tecnologia pouco exigente. O processo de funcionamento deste sistema consiste no acionamento de uma roda na qual gira uma corda com vários êmbolos que ao atravessarem um tubo arrastam uma pequena quantidade de água. A quantidade de água obtida varia com o diâmetro dos êmbolos e a velocidade de rotação. A altura é um condicionante neste método, porque aumenta a força necessária para operar a roda. Na Figura 11 mostra-se um esquema de funcionamento desta bomba.

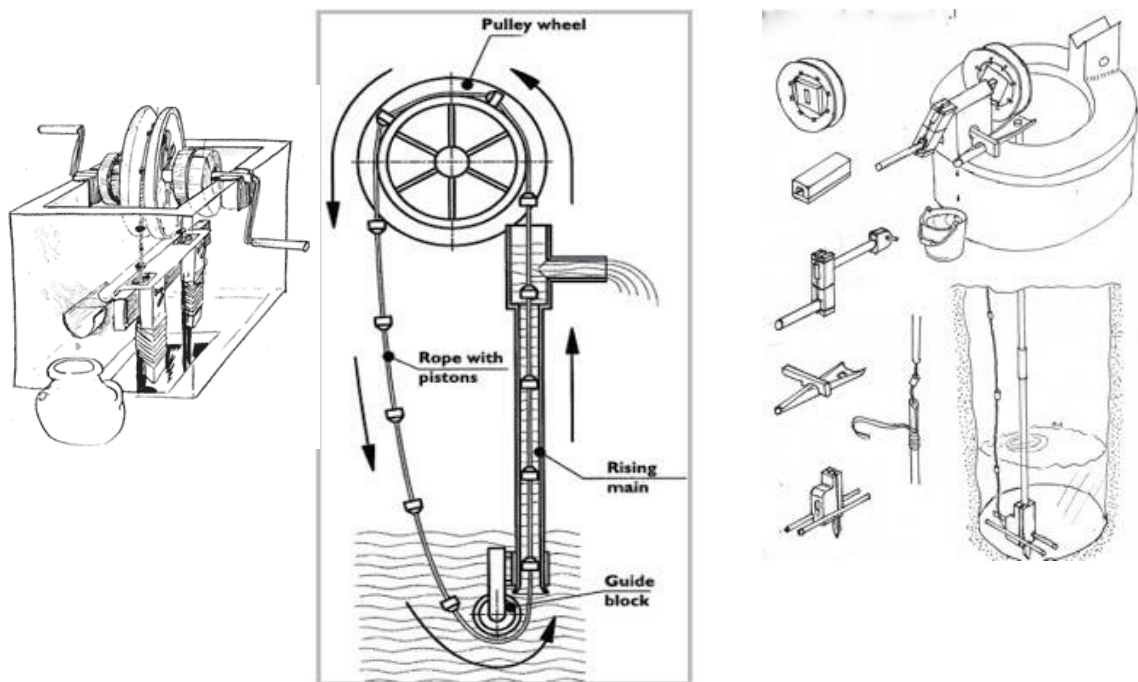


Figura 11 – Esquema de funcionamento da *rope pump* (demotech) (mawama) (demotech)

Existem já alguns estudos realizados para determinar a eficiência deste tipo de bombas, sendo as principais perdas de energia neste sistema o atrito na guia, o atrito nos rolamentos do veio, a água que se perde ao longo do percurso de subida e a força de arrasto provocada pela turbulência da água (Beattie 2009).

- A *PlayPump* é um sistema que aproveita o movimento produzido pelas crianças quando brincam numa espécie de carrossel nas escolas. A água é então bombeada e mantida em reservatórios para posterior utilização.

- A bomba *rower* é de pequena dimensão e funciona como uma bomba de sucção de operação manual para irrigação de pequena escala. Esta bomba foi criada em 1987. Apresenta um desenho muito simples e um preço bastante acessível. É normalmente construída localmente e

tem uma manutenção muito simples, com a vantagem de se encontrar peças de substituição facilmente (Roth, Boelens, e Zwarteveen 2005). Apresentam, no entanto, uma grande desvantagem, que está relacionada com a profundidade máxima de captura da água que é menos de 7 metros de profundidade.

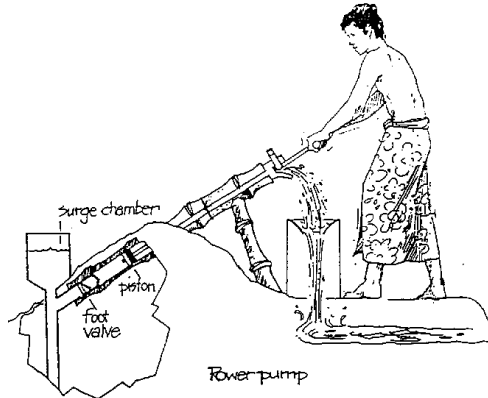


Figura 12 – Bomba rower (Corps 1994)

- A bomba de pedais é também utilizada para irrigação de pequena escala. O princípio de funcionamento é um cilindro que contém um êmbolo que, ao criar vácuo, aspira a água.

2.6 Irrigação de pequena escala

De uma forma simples, irrigações são todas as técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água de uma forma artificial nas plantas. É necessário pensar no sistema de irrigação como um conjunto que engloba as plantas e o meio em que estas se inserem e não apenas um simples equipamento. Assim satisfazemos as necessidades das plantas para obter a produção ideal e evitam-se desperdícios e perdas. Num sistema de irrigação de pequena escala é muito importante gerir a quantidade de água utilizada. Para isso é importante escolher a técnica de regadio apropriada e projetar o sistema de acordo com a cultura que queremos. Desta forma conseguiremos obter um uso eficiente da fonte de água e aplicar a quantidade ajustada às necessidades das plantas.

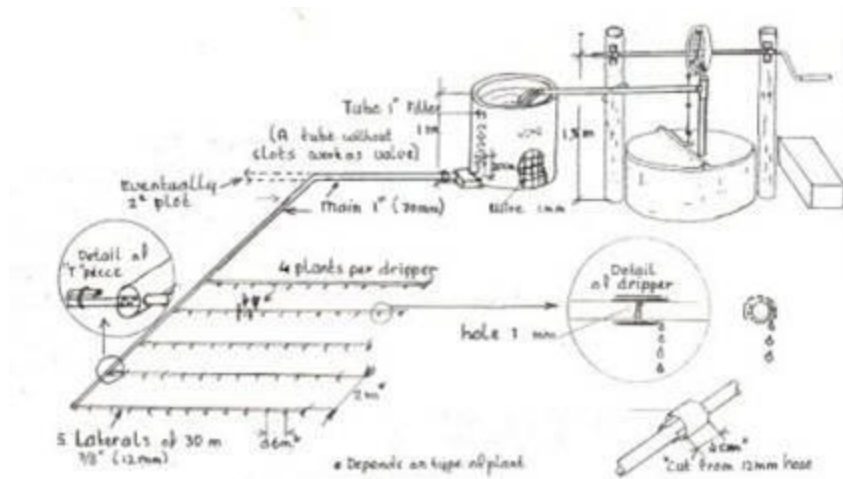


Figura 13 – Esquema de um sistema de irrigação de pequena escala (Envis centre 2003)

Existem pequenos sistemas de irrigação por aspersão de baixo custo, no entanto estão sempre dependentes de energia, pois são acionados através de bombas elétricas.

Para o clima seco, que é o caso particular da situação em estudo, o método mais aconselhado é o sistema de irrigação por gotejamento. Este sistema consiste numa rede de tubagens nos quais estão aplicados emissores ou gotejadores ao longo das linhas que permitem a saída controlada da água. Como estes emissores apresentam diâmetros de saída muito reduzidos, o sistema utiliza pequenos caudais mas com uma grande frequência de aplicação da água. Deste modo a água é aplicada perto do local da raiz da planta e em quantidades próprias, diminuindo assim desperdícios. Uma das grandes desvantagens deste método é a quantidade de acessórios constituintes que fazem com que o custo aumente.

2.7 Materiais compósitos

Desde o início da humanidade que o Homem utiliza matérias de origem vegetal para diversas finalidades. Ao longo do tempo foi aprendendo a combinar essas matérias de forma habilidosa, criando materiais compósitos. Hoje em dia voltou o interesse pelas fibras vegetais, muito utilizadas antes da II Guerra Mundial e esquecidas entretanto, devido à ascensão das fibras sintéticas. Têm sido feitos vários estudos de forma a tentar encontrar aplicações para as fibras vegetais na construção civil e até mesmo na indústria automóvel e aeronáutica, de forma a obter materiais mais leves e económicos. O interesse pelas fibras naturais deve-se também à tendência mundial de procura de recursos renováveis e de menor custo (Paula 1996). Por exemplo em 1930, Henry Ford utilizou cerca de 25 kg de soja nos plásticos do seu

Modelo T. Hoje em dia muitas empresas fabricantes de automóveis desenvolvem e integram nos seus modelos bioplásticos derivados de plantas (Shurtleff e Aoyagi 2011).

Materiais compósitos são materiais constituídos por dois ou mais materiais diferentes e cujas propriedades mecânicas são superiores às dos materiais isolados. Os materiais compósitos são classificados pelo material que forma a matriz, que é a fase contínua, e esta envolve uma outra fase, designada por reforço ou fase dispersa (Smith 1998). Na Figura 15 podemos ver representadas estas duas fases e a sua interface.

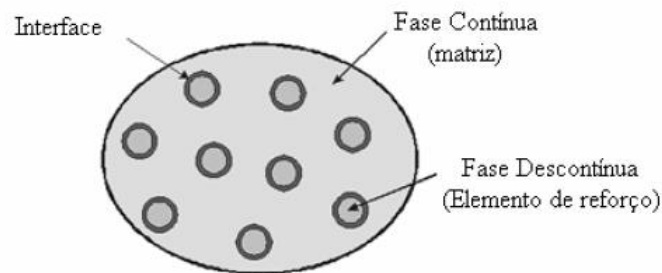


Figura 15 – Fases de um material compósito (Cerqueira 2008)

Existem várias opções de materiais, tanto para a matriz como para o reforço, que formam inúmeras combinações de materiais compósitos. A escolha dessas combinações depende de vários fatores, como o desempenho, o custo, as condições de processamento e a disponibilidade (Moura, Morais, e Magalhães 2006). É importante garantir uma boa adesão interfacial (interação entre as fases). Geralmente, os materiais compósitos reforçados com fibras são competitivos em termos de propriedades mecânicas. Bem dimensionados apresentam uma solução bastante razoável.

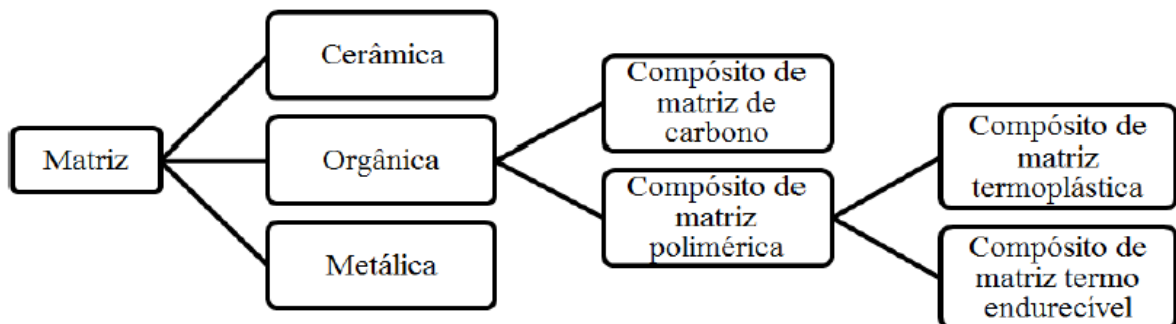


Figura 14 – Classificação dos materiais compósitos quanto à matriz

A matriz pode ser cerâmica, orgânica ou metálica. Esta fase confere estrutura ao material compósito preenchendo os espaços, mantendo o reforço na sua posição e garantindo assim que as fibras permaneçam na orientação desejada. Distribui e transfere as tensões para a carga

(Chawla 2012). Protege também as fibras do meio envolvente, protegendo-as do dano provocado pelo manuseamento.

O reforço é o elemento responsável pelo bom desempenho do material compósito, uma vez que suporta a quase totalidade das cargas aplicadas ao material. Os reforços podem apresentar várias formas, como partículas, mantas, pequenas fibras ou fibras contínuas (Chawla 2012). De uma forma geral, esta fase deve ser de elevada resistência mecânica e de elevada rigidez. Assim, as propriedades das fibras contribuem para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do compósito. As fibras constituintes desta fase podem apresentar um desempenho diminuído devido a vários fatores, como o comprimento. O comprimento das fibras pode alterar significativamente o seu desempenho mecânico, bem como outras propriedades do material compósito. O comprimento crítico (l_c) é o comprimento mínimo que a fibra deve possuir, para um determinado diâmetro, para que esta atue como reforço.

$$l_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{2 \cdot \tau_f}$$

l_c : comprimento crítico [m];

d : diâmetro da fibra [m];

σ_f : resistência à tração da fibra [Pa];

τ_f : tensão de corte entre a fibra e a matriz [Pa].

A performance dos compósitos reforçados com fibras é avaliada pelo comprimento, a forma, a orientação e a composição das fibras e também pelas propriedades mecânicas da matriz. A forma de distribuição e a dispersão são também fatores importantes. O reforço tem também a capacidade de interromper a propagação de fissuras. Um alto teor de fibras confere maior resistência pós-fissuração e uma menor dimensão das fissuras.

As fibras podem apresentar várias configurações possíveis:

- Um alinhamento totalmente aleatório;
- Um alinhamento unidirecional;

- Um alinhamento bidirecional;
- Um alinhamento multidirecional.

As propriedades dos compósitos que apresentam um alinhamento unidirecional possuem valores distintos em direções perpendiculares, verificando-se assim a anisotropia do material.

Normalmente, as fibras contínuas estão alinhadas enquanto as fibras descontínuas podem estar desalinhadas, orientadas aleatoriamente ou parcialmente alinhadas.

Pode ainda ser aplicado um reforço, que pode estar em diferentes formas:

- “*Roving*”: cordão de filamentos enrolados helicoidalmente em bobines;
- Mantas: distribuição aleatória das fibras, que são agregadas com um ligante especial em emulsão de pó, que confere estabilidade e deve ser solúvel na impregnação;
- Tecidos 2D ou 3D: são produzidos por ligação de vários feixes de fibras longas e são usadas quando são necessárias boas propriedades mecânicas.

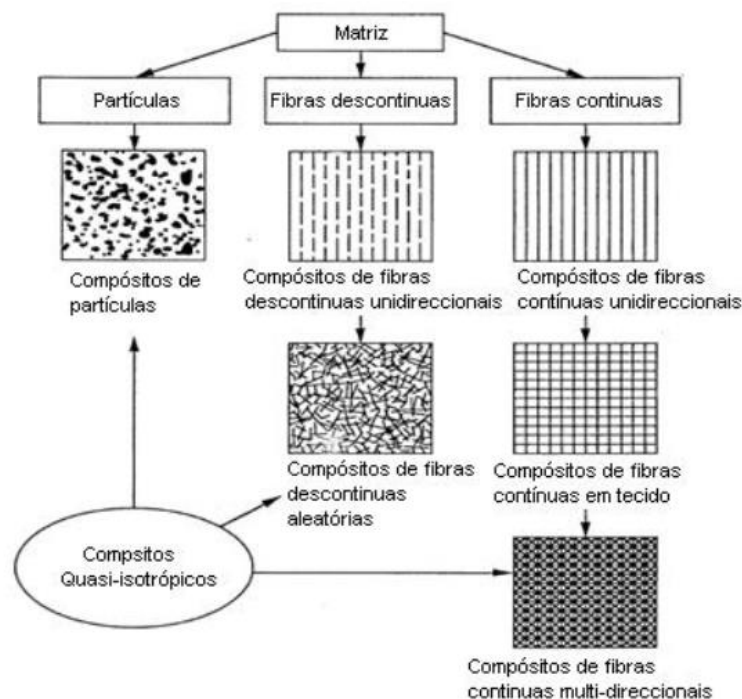


Figura 16 – Classificação de materiais compósitos segundo o reforço (Daniel e Ishai 2006)

As fibras naturais são utilizadas particularmente devido a algumas características como a sua baixa densidade, o bom isolamento térmico, o baixo preço, a durabilidade e, muito importante, a sua sustentabilidade e biodegradabilidade.

Cada fase contribui para as propriedades do compósito. Para fazermos a estimativa das várias propriedades dos compósitos podemos usar a seguinte equação (Askeland e Fulay 2005), conhecida como a lei das misturas, que permite prever aproximadamente as propriedades mecânicas dos materiais compósitos na direção das fibras.

$$P = P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2$$

P : Propriedade do compósito;

P_1 e P_2 : Propriedade do componente 1 e 2;

V_1 e V_2 : frações volumétricas dos componentes 1 e 2.

Nos compósitos reforçados com partículas e fibras curtas, o carregamento, ao ser feito na matriz, é transferido para as fibras e para as partículas através das interfaces. Assim, pode-se introduzir fatores de correção de modo a ajustar a eficiência da contribuição de cada parcela para a resistência mecânica do compósito (AL-QURESHI 1988).

$$P_c = \beta \cdot P_f \cdot V_f + \lambda \cdot P_m \cdot V_m + \gamma \cdot P_p \cdot V_p$$

P_c : Propriedade do compósito;

P_f, P_m e P_p : Propriedades mecânicas da fibra, matriz e partícula, respectivamente.

V_f, V_m e V_p : Frações volumétricas das fases fibra, matriz e partícula, respectivamente.

O fator β representa a eficiência do reforço da fibra, de acordo com a Tabela 1.

O fator λ está relacionado com a eficiência do recobrimento das fases presentes por parte da matriz, $\lambda = f\left(\frac{\tau_{mp}}{\tau_m}\right)$ (AL-QURESHI 1988);

O fator γ , varia de 0 a 1 e é função da razão entre a tensão de corte na interface matriz/partícula e a tensão de corte da matriz.

Tabela 1 – Eficiência do reforço das fibras no compósito para alguns ângulos de orientação de fibra em relação à aplicação da tensão (AL-QURESHI 1988)

<i>Orientação da fibra</i>	<i>Direção da aplicação da carga</i>	<i>β, fator de correção</i>
Todas as fibras estão paralelas	Solicitação paralela às fibras	1
	Solicitação perpendicular às fibras	0
Bidirecionais (tecidos)	Solicitação bidirecional	1/2
Fibras distribuídas de forma uniforme, num plano	Qualquer direção	3/8
Fibras distribuídas de forma uniforme, num espaço tridimensional	Qualquer direção	1/5

2.8 Fibras naturais

As fibras naturais têm sofrido um incremento no seu uso como parte do reforço de materiais compósitos e como são escolhidas no âmbito deste trabalho, vamos dar-lhes maior destaque.

As fibras vegetais, ou naturais, apresentam algumas vantagens face às fibras sintéticas:

- Biodegradabilidade;
- Abundância, grande variedade e quantidade;
- Recicláveis;
- Baixo custo;
- Baixo peso específico;
- Recursos renováveis.

Em contrapartida as desvantagens face às fibras sintéticas;

- Possuem uma temperatura de processamento limitada;
- Apresentam uma elevada capacidade de absorção de humidade;
- São incompatíveis com alguns polímeros
- Apresentam qualidade variável, dependendo das condições climáticas e de cultivo.

Na tabela seguinte podemos observar algumas propriedades das fibras de origem vegetal.

Tabela 2 – Comparação de algumas propriedades de fibras naturais com a fibra de vidro. (Franck 2005)

<i>Propriedades</i>	<i>Vidro</i>	<i>Linho</i>	<i>Cânhamo</i>	<i>Juta</i>	<i>Rami</i>	<i>Sisal</i>	<i>Algodão</i>
Densidade (ρ) [g/cm ³]	2,55	1,4	1,48	1,46	1,5	1,33	1,51
Resistência à tração (σ_u) [MPa]	2400	800-1500	550-900	400-800	500	600-700	400
Módulo de Young (E) [GPa]	73	60-80	70	10-30	44	38	12
Módulo de Young específico (E/ ρ)	29	26-46	47	7-21	29	29	8
Alongamento até à rotura [%]	3-4.5	1,2-1,6	1,6	1,8	2	2-3	3-10
Absorção de humidade [%]	-	7	8	12	12-17	11	8-25

Devido a algumas das vantagens já referidas, as fibras naturais têm sido cada vez mais utilizadas como reforço de materiais compósitos. A sua flexibilidade de processamento e o seu baixo custo torna-as muito atrativas para os fabricantes.

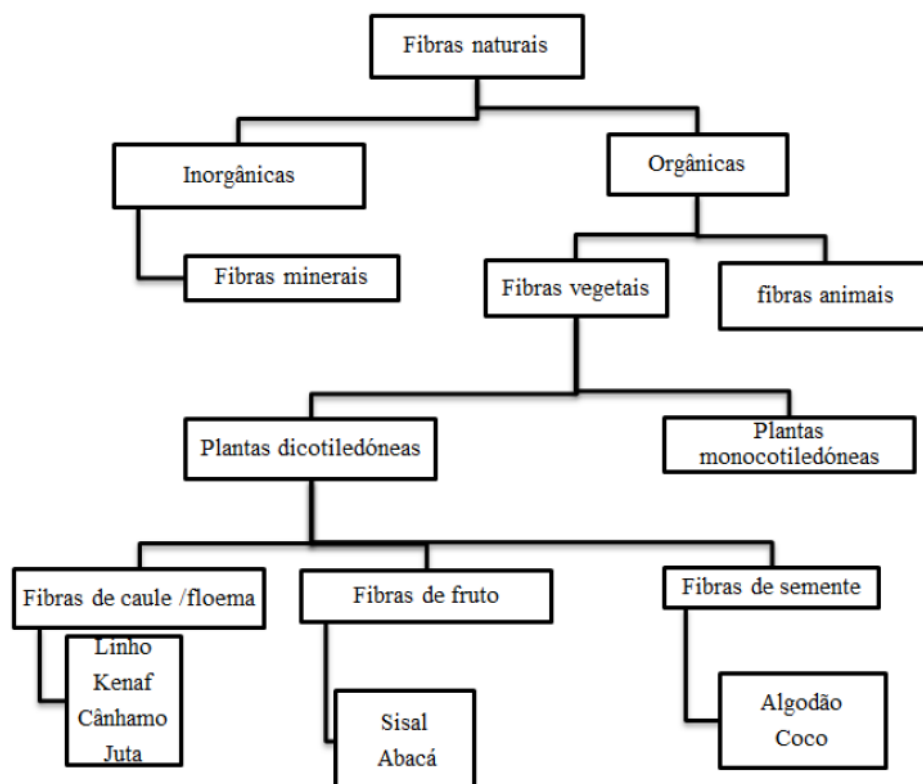


Figura 17 – Classificação das fibras naturais (Franck 2005)

As plantas que produzem as fibras naturais são classificadas de primárias quando o produto final da planta é a fibra ou secundárias quando as fibras são produtos secundários da planta. A juta, o sisal ou o cânhamo são alguns exemplos de plantas primárias, enquanto o ananás e o coco são exemplos de plantas secundárias.

Tabela 3 – Produção mundial de algumas fibras naturais (Faruk et al. 2012)

<i>Fibra</i>	<i>Produção mundial (10³ ton)</i>
Bambu (<i>Bambusoideae</i>)	30 000
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	2300
Linho (<i>Linum usitatissimu</i>)	830
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	378
Cânhamo (<i>Cannabis sativa</i>)	214
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	100
Rami (<i>Boehmeria nivea</i>)	100

2.9 Matrizes naturais

Existem vários tipos de polímeros utilizados como matrizes de compósitos. Dividem-se em dois grupos: os termoplásticos e os termoendurecíveis.

Os polímeros termoplásticos podem ser fundidos e solidificados várias vezes sem alterar significativamente as suas propriedades. Em contrapartida os polímeros termoendurecíveis, após transformados não se fundem. O aquecimento do polímero provoca a decomposição do mesmo antes da sua fusão.

O Látex, borracha natural, a colofónia, a mirra e a goma arábica, a goma damar e a goma de cajueiro são alguns exemplos de polímeros naturais.

Existem considerações sobre o processamento e aplicação de compósitos de origem vegetal. As diferentes técnicas de processamento para a obtenção dos compósitos acabam por determinar a sua qualidade final. A sua escolha deve ter em conta a aplicação esperada para o material e os custos.

Os diferentes métodos para a obtenção de materiais compósitos podem ser generalizados em dois tipos: processo em molde aberto e em molde fechado.

2.10 Pultrusão

A pultrusão é um dos processos mais antigos para o fabrico de compósitos reforçados com fibras. A primeira patente de pultrusão nos Estados Unidos da América foi emitida no ano de 1951. W. B. Goldworthy é um dos pioneiros do uso deste processo de fabrico.

A pultrusão é um processo contínuo de fabrico de perfis de secção constante. É um processo em que as peças são fabricadas através de fibras, que são tensionadas e atravessam um banho de resina e depois uma feira aquecida que dá a forma desejada à secção transversal, sem limitação no que toca ao comprimento das peças ou perfis (Memon e Nakai 2013). No entanto, a dimensão das peças é limitado pela dimensão da feira. Algumas das vantagens

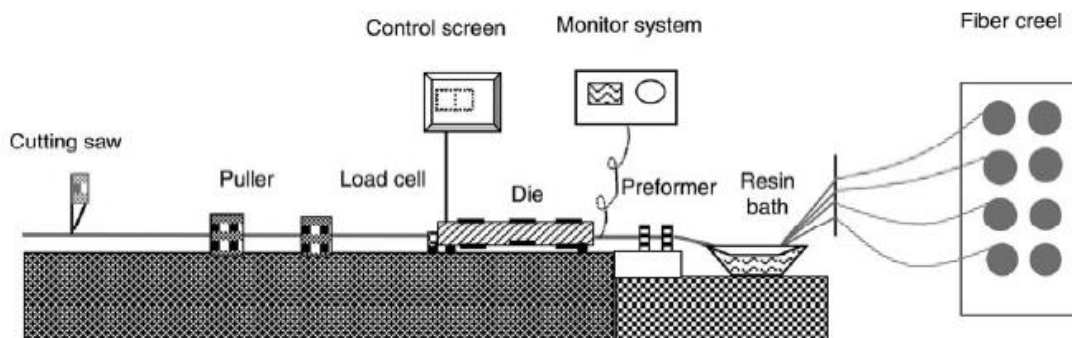


Figura 18 – Representação esquemática do processo de pultrusão (Zhu et al. 2004)

deste processo incluem baixa torção, baixa produção de sucata, rapidez e um bom controlo de qualidade. Como desvantagens, o processo apresenta um custo elevado no arranque das

operações, problemas de impregnação das fibras, quebra das fibras, cura inadequada, risco de encravamento na feira e um custo elevado das mesmas (Shekar e University 2007). Dependendo da resistência exigida, existem vários materiais de reforço que podem ser aplicados no molde. Este é um processo aplicado exclusivamente a materiais compósitos.

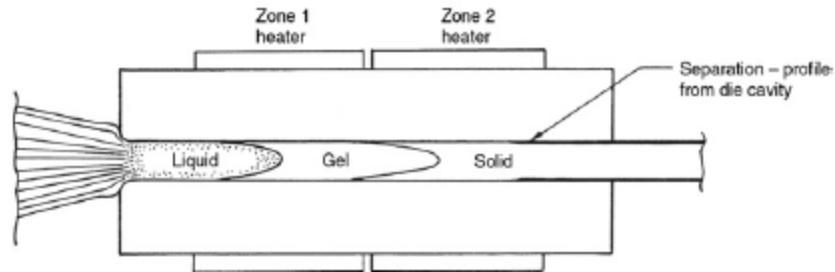


Figura 19 – Representação da mudança de fase de um compósito termoendurecível no interior do molde aquecido (Baran, Tutum, e Hattel 2013)

Neste processo, as fibras contínuas unidirecionais (*roving*) manta e/ou tecidos contínuos são impregnadas numa resina termoendurecível e puxadas através da feira. Passam por um sistema de guiamento e controlo, onde é retirado o excesso de resina e é dada a conformação às fibras para que tenham uma conformação aproximada do perfil a ser produzido. A feira é aquecida e é responsável pela cura do compósito e forma final do perfil. O perfil é puxado por um par de garras mecânicas ou hidráulicas que permitem o movimento contínuo e controlam a velocidade de produção. Esta velocidade tem de ser controlada para que a cura se dê totalmente no interior da feira.

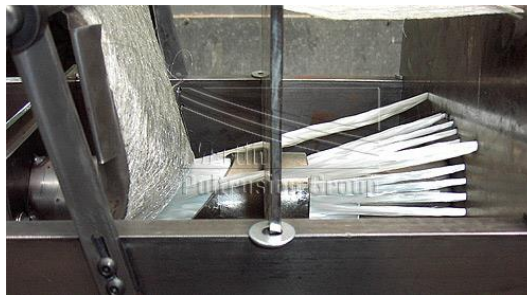


Figura 20 – Detalhe do sistema de guiamento das fibras (martinpultrusion)

Apesar de o conceito ser relativamente simples, é um processo complicado de se aplicar por ter demasiados parâmetros que influenciam uma correta cura. A velocidade, a temperatura da feira, a quantidade de fibras e as suas propriedades térmicas são parâmetros importantes que devem ser considerados para se obter uma alta qualidade.

Este processo é capaz de uma produção em grande escala de perfis (Mitschang e Christmann 2012). Existem diversas formulações matemáticas que ajudam a definir alguns parâmetros e o desenvolvimento da simulação numérica veio ajudar a definir melhor o processo.

O equipamento inclui um local onde estão as fibras que estão a ser utilizadas, um suporte para as mantas de reforço, uma unidade onde está depositada a resina (normalmente aquecida por resistências elétricas), várias guias das fibras, uma feira aquecida, uma unidade de controlo, um puxador e uma serra final.

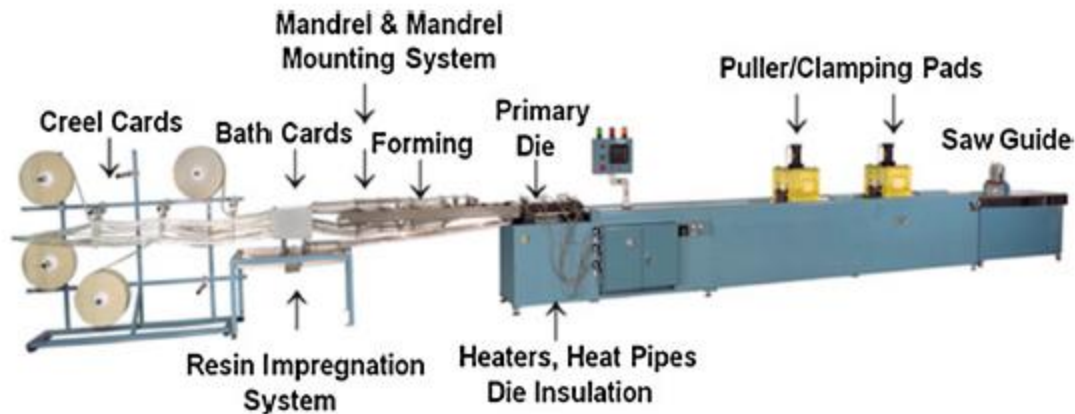


Figura 21 – Diagrama esquemático do processo de pultrusão (Silva et al. 2014)

Há uma grande variedade de resinas termoendurecíveis (poliésteres insaturados, resinas epoxídicas, fenólicos, etc) e termoplásticas. Em geral, uma resina adequada para o processo de pultrusão tem que possuir algumas propriedades, como baixa viscosidade (entre 500 a 2000 cps), alta reatividade e um tempo de vida útil longo no tanque de impregnação. (Zhu et al. 2004) A baixa viscosidade permite à resina penetrar as fibras mais facilmente, resultando numa melhor impregnação.



Figura 22 – Detalhe das resistências no molde (Silva et al. 2014)

As fibras mais utilizadas como fibras de reforço são as fibras de vidro (PRFV) e as fibras de carbono, embora outros tipos de fibra possam também ser utilizados, como por exemplo as fibras de aramida (Kevlar®).

Alguns aspetos importantes no que toca ao projeto das peças prendem-se com o comprimento máximo, cerca de 12 m devido ao transporte, a espessura das paredes (têm de ser pelo menos 1,5 mm mas normalmente têm à volta de 3 ou 3,5 mm) e eventuais mudanças bruscas na espessura ao longo das peças. Os perfis ocos são possíveis, no entanto as tolerâncias vão ser bastante prejudicadas devido ao movimento do mandril (ferramenta que forma a secção interior das peças e que só está fixa numa das extremidades) durante a realização das peças. É

normal produzir rolos de perfis de pequena secção, podendo ter alguns quilómetros de comprimento.

Os perfis de compósitos produzidos apresentam uma grande variedade de aplicações, porque são mais leves quando comparados com os perfis feitos em aço ou em alumínio (Ströher, Zaparoli, e de Andrade 2013). De seguida mostram-se alguns exemplos de peças típicas produzidas por este método de fabrico. Na Figura 24 podem ver-se, escadas, escadas verticais, passadiços e algumas estruturas.

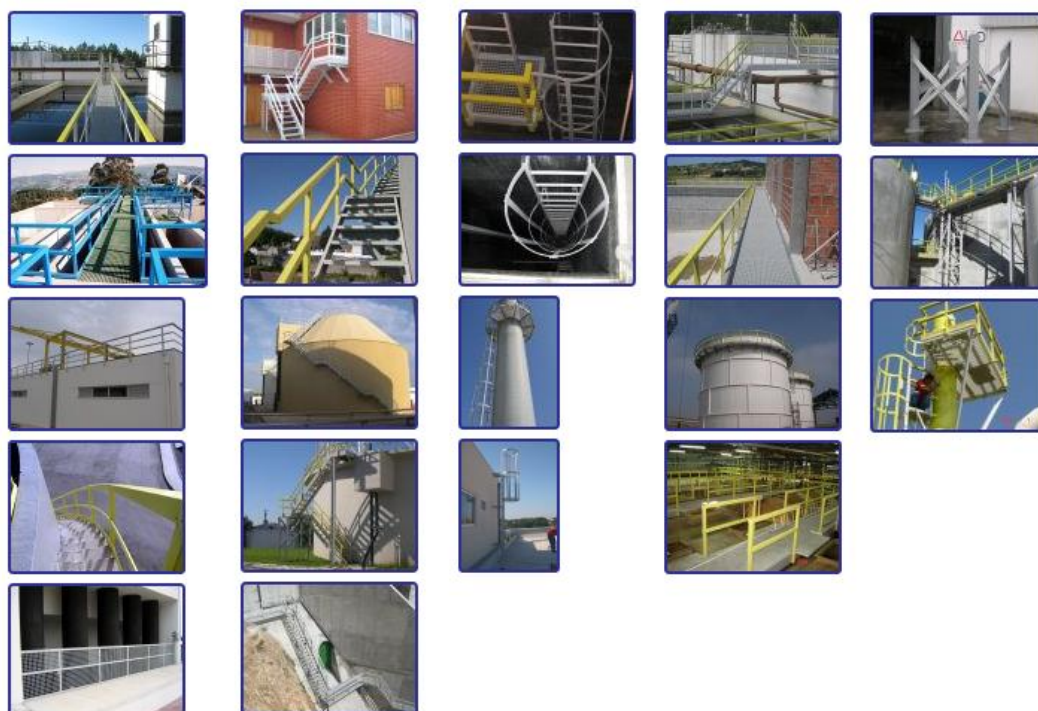


Figura 24 – Imagens de estruturas realizados com peças pultrudidas (ALTO - Perfis Pultrudidos)

Ligados ao tema da sustentabilidade estão a ser efetuados estudos para assegurar o aproveitamento dos desperdícios obtidos durante este processo.



Figura 23 – Desperdícios e perfis que não passam nos testes de qualidade (Meira Castro et al. 2014)

2.11 Enrolamento filamentar

O enrolamento filamentar é outro processo de fabrico de materiais compósitos. É utilizado na fabricação de componentes de revolução ou axissimétricos, por exemplo, de produtos de alto desempenho, como tanques e tubos. Neste processo, um veio suporta um mandril com a forma desejada e roda proporcionando o enrolamento do reforço. O reforço é em geral uma fibra contínua de alto desempenho, como fibras de vidro, de carbono, de aramida ou híbridos destas, e as camadas são colocadas sucessivamente sobre o mandril rotativo. O processo do enrolamento é mecanizado e consiste no enrolamento contínuo das fibras em ângulos específicos sobre o mandril. As camadas podem ser colocadas em diferentes ângulos. O ângulo de enrolamento da fibra em relação ao eixo do mandril, (θ), define o tipo de enrolamento. Com um ângulo próximo de 0° , enrolamento polar, as fibras são enroladas longitudinalmente, passando pelos pólos do mandril. O enrolamento circunferencial apresenta um ângulo θ próximo de 90° . O enrolamento helicoidal varia entre 5° e 80° (Shen 1995). Assim, o ângulo determina as propriedades do componente produzido. As camadas com ângulos pequenos proporcionam resistência aos carregamentos axiais e os ângulos grandes (próximos de 90°) garantem elevada resistência circunferencial. As fibras são impregnadas em resina no momento em que estão a ser aplicadas ou utilizadas fibras pré-impregnadas.

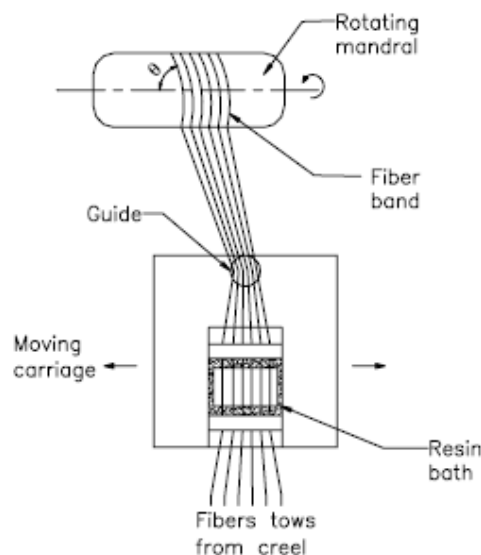


Figura 25 – Esquema do processo de enrolamento filamentar (Abdalla et al. 2007)

A produção por este método envolve variáveis que influenciam as propriedades mecânicas do produto final. Algumas variáveis são classificadas como variáveis de projeto e outras como variáveis de processo. As variáveis de projeto têm em consideração as condições do carregamento e ambientais a que o material será submetido durante a sua aplicação, sendo

determinados parâmetros como o tipo de resina, viscosidade e vida útil, tipo de fibras e uso de reforço pré-impregnado, ângulos de enrolamento, número de camadas para cada ângulo, número total de camadas. Nas variáveis de processo temos a tensão de enrolamento do reforço, tempo de enrolamento entre as camadas e o padrão de deposição das fibras.

2.12 Moldação por centrifugação

A moldação por centrifugação é uma forma de processar materiais. O princípio de funcionamento deste processo consiste na rotação simultânea em torno de dois eixos. Fixo a esses eixos encontra-se o molde que contém o material a ser processado. A desvantagem deste método é o condicionamento dos materiais possíveis de utilizar e o tamanho do molde. Do lado das vantagens encontramos uma grande flexibilidade na complexidade das peças possíveis de produzir e a facilidade de criar o equipamento de uma forma rudimentar. De seguida mostra-se as quatro etapas fundamentais.

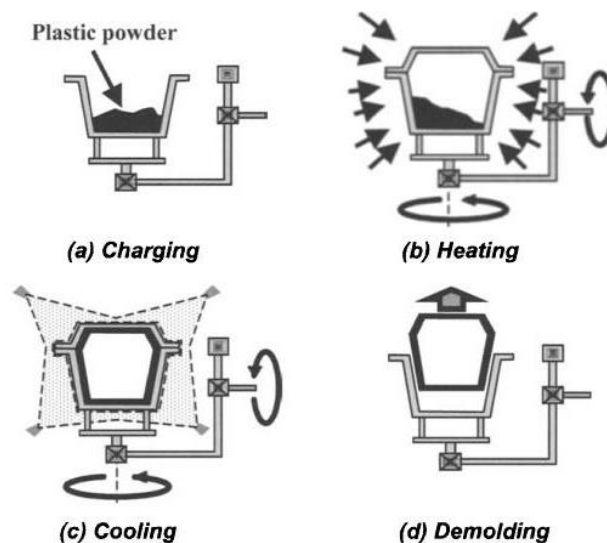


Figura 26 – Esquema do processo da moldação por centrifugação (Crawford, Crawford, e Throne 2001).

2.13 Processo de moldação manual

Este é o método mais simples para o fabrico de uma peça com reforço por fibras. Para se fabricar uma peça aplica-se em primeiro lugar um revestimento ao molde aberto. É depois colocado manualmente o reforço de fibras, normalmente em tecido ou manta. A resina plástica é misturada com catalisadores e aceleradores e vazada ou aplicada com o auxílio de um pincel. Com um rolo faz-se com que a resina molhe completamente o reforço. Para se aumentar a espessura da parede da peça adicionam-se mais camadas de manta ou tecido e de resina.

3 Desenvolvimento de produto

A metodologia do desenvolvimento de produto consiste num procedimento sistemático e iterativo. Contempla estratégias e ferramentas para o desenvolvimento estruturado de novos produtos num ambiente de trabalho em equipa. Para o desenvolvimento de produtos é necessário seleccionar uma ideia e desenvolvê-la percorrendo diversos passos (Ulrich 2007):

- Missão, onde são apresentados os objetivos gerais do projeto e principais mercados e se estabelecem os valores e missão do produto;
- Identificação das necessidades dos consumidores e especificações do produto;
- Averiguação do mercado (*Benchmarking*)
- Geração do conceito do produto ou serviço. No final deste passo pretende-se visualizar algumas características do produto ou serviço a desenvolver;
- Finalização do projeto e sua implementação.

A Missão diz respeito ao propósito de uma empresa, organização ou pessoa, referir a sua razão de existir. Serve para encaminhar as ações da organização, definir objetivos gerais e orientar a tomada de decisão. Contém um conjunto de estratégias formuladas pela empresa (Hill e Jones 2012).

Para a identificação das necessidades dos utilizadores utilizam-se inquéritos, de vídeos e de fotografias. Também se realizam entrevistas e recolha de informações, neste caso, junto de algumas pessoas ligadas à agricultura. Neste caso particular o *brainstorming* com as pessoas locais e futuros utilizadores da máquina para a criação dos tubos seria uma fase importante, já que se trata de um projeto particular para um local.

Deste modo consegue-se determinar as características que a máquina tem que ter, neste caso a facilidade de montagem num local onde não existe energia elétrica e a facilidade de utilização, para que qualquer pessoa seja capaz de a operar. É também muito importante a

máquina ter uma geometria e um mecanismo simples, para que, caso aconteça alguma avaria, as pessoas locais sejam capazes de criar peças de substituição e proceder a reparações.

Para a criação do conceito deve-se utilizar o **método dos cinco passos**. Esta metodologia torna possível realizar, em grupo, uma estruturação clara e organizada da determinação dos possíveis problemas e suas soluções na conceção do produto.

Durante esta etapa devem ser identificados os problemas e divididos em sub-problemas e efetuada uma pesquisa relativa a produtos semelhantes existentes no mercado. Deste modo pretende-se encontrar conceitos que possam ser utilizados na resolução dos sub-problemas identificados. Realizam-se sessões de brainstorming em grupo com o objetivo de desenvolver soluções para os sub-problemas.

Na averiguação do mercado, procurando produtos e soluções existentes que possam resolver alguns destes problemas, deparamo-nos com a propriedade intelectual.

Dentro da propriedade intelectual podemos distinguir 4 modalidades, sendo elas:

- Patentes;
- Marcas;
- Desenhos;
- Segredo Industrial.

Será interessante referir, que caso não existisse uma proteção de dados cuidada, um dado projeto de investimento nunca teria um retorno financeiro adequado e as empresas nunca iriam investir no desenvolvimento de novos produtos de qualidade e tecnologia superiores. Por outro lado, em certas situações, é necessário ter atenção para não se desenvolver um trabalho infrutífero num projeto que já foi desenvolvido.

Por estes motivos torna-se essencial analisar a propriedade intelectual de duas perspectivas diferentes.

Quando o projeto se encontrar numa fase mais avançada é importante pensar na propriedade intelectual, cultivando o intuito de proteger o nosso trabalho.

No entanto, numa fase inicial do projeto, na etapa de desenvolvimento de produto, é muito importante fazer uma pesquisa, numa outra perspetiva, fazendo uma busca geral por todas estas modalidades, tentando identificar ideias iguais ou similares à nossa, pois em muitos casos a ideia “inovadora” que vamos desenvolver, pode já ter sido criada e inclusive já estar

protegida. De maneira a evitar este tipo de constrangimentos e desperdício de trabalho esta pesquisa, como já referido, é de extrema importância.

Na fase inicial do desenvolvimento de um produto, é importante portanto fazer uma pesquisa no que diz respeito a produtos já existentes, de forma a perceber o quão inovador é o produto em estudo.

Deve ter-se em conta também as patentes existentes, de forma a respeitar a criação e comercialização do seu titular. Além disso é necessário averiguar normas e diretivas, de forma a garantir o correto funcionamento do produto.

As patentes têm como função proteger as invenções de um produto que estiveram aliadas à inovação e aplicação industrial. Esta proteção atribui ao seu inventor um direito exclusivo, de duração limitada, de produzir e comercializar a sua invenção.

Uma marca é um sinal que identifica no mercado um dado produto ou prestação de serviço. A proteção de uma marca tem duas funções, sendo elas a função jurídica (função distintiva e monopólio) e a função económica (garantia de qualidade). As marcas podem ser:

- Nominativas (compostas por elementos verbais);
- Figurativas (compostas apenas por elementos figurativos);
- Mistas;
- *slogans*.

Deve-se também acompanhar o desenvolvimento do protótipo com uma análise de custos de produção, de forma a viabilizar o futuro do projeto.

4 Desenvolvimento do conceito

4.1 Construção da ideia

Pretende-se desenvolver uma solução económica e eficaz para fazer a distribuição de água para a agricultura e que o conceito seja sustentável. Para isso vamos tentar utilizar algumas tecnologias apropriadas e materiais naturais locais. O sistema deve ter componentes de fácil construção e manutenção, dando a possibilidade aos utilizadores locais de poder fazer pequenas reparações em caso de avarias no sistema ou da necessidade de substituição de alguns componentes que se vão degradando com o tempo de uso. Deste modo devemos apostar na durabilidade dos componentes do sistema para minimizar a intervenção por parte dos utilizadores. E, como já referimos, deve ser uma solução económica, logo a construção dos componentes deve ser de baixo custo. Uma preocupação que deve estar sempre presente ao longo do projeto é a economia de água, um recurso escasso e caro.

O conceito global completo integra um sistema de extração de água, um sistema de armazenamento e por fim um sistema de distribuição. O sistema de extração resume-se a uma bomba de corda que capta a água para um reservatório, solução já bastante utilizada em Moçambique. No final temos um sistema de irrigação gota-a-gota que irá distribuir a água pelas áreas de cultivo por ação da gravidade.

4.2 Dimensionamento do sistema de irrigação gota-a-gota

O princípio de funcionamento de um sistema deste tipo é o fornecimento eficiente de quantidades controladas de água o mais próximo possível da raiz da planta, para garantir que a vegetação se mantenha viva e em bom estado de conservação. Para se atingir os objetivos mencionados acima a água tem de ser fornecida na quantidade necessária e distribuída o mais uniformemente possível. A pressão no sistema para garantir a circulação de água é

normalmente obtida através de uma bomba. Neste caso iremos utilizar apenas a gravidade como forma de obter essa pressão. A razão principal da utilização da força gravítica é a dificuldade de utilização de uma bomba no local em questão por falta de energia elétrica. Outra razão é minimizar os custos do sistema, já que a bomba e os seus custos de utilização são o que encarece este tipo de sistemas de irrigação.

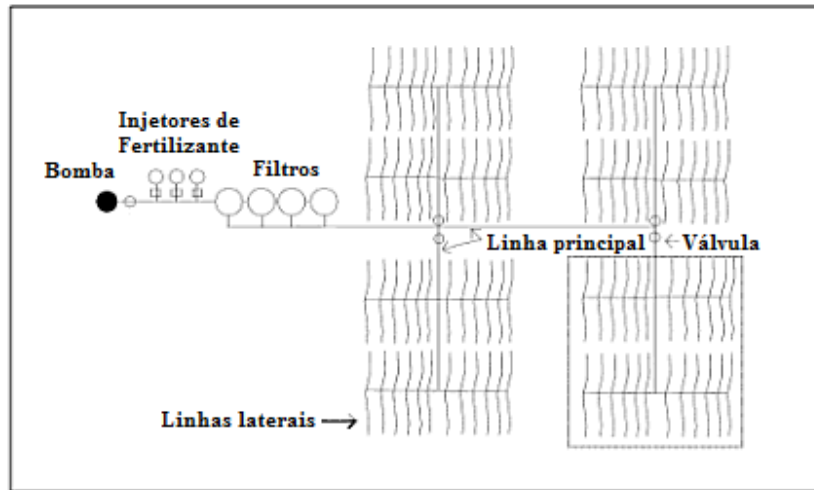


Figura 27 – *Layout* de um sistema simples de irrigação por gotejamento (Burt et al. 2007)

Podemos ver que a bomba, ou no nosso caso o reservatório, alimenta uma linha principal que depois se ramifica e leva a água às várias plantas que estão distribuídas de uma forma ordenada. Como no nosso caso não iremos ter nenhum tipo de controlo do fluxo de água, e uma vez que as plantas têm necessidades diferentes de quantidades de água, aconselha-se a organizar as culturas em pequenas áreas, sendo cada uma alimentada por um reservatório próprio. Assim, as quantidades de água podem ser controladas pelo tempo em que a rega irá estar ativada.

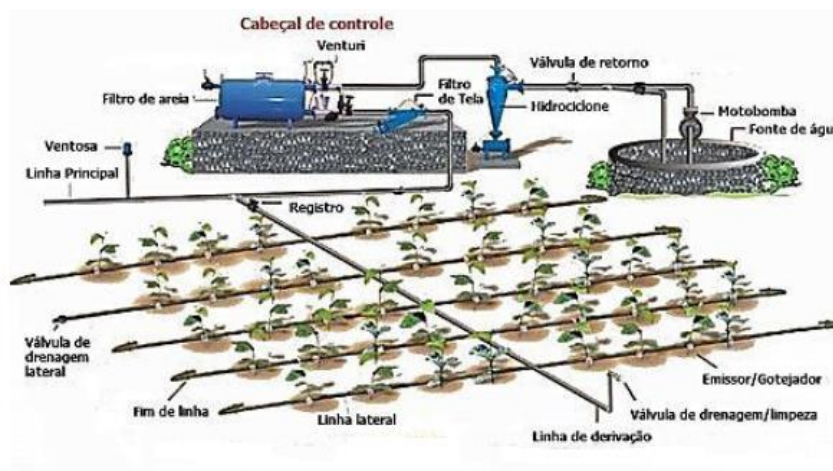


Figura 28 – Esquema de um sistema de irrigação (Testezlaf 2011)

Os sub-sistemas devem estar projetados de forma a terem o caudal uniformemente distribuído por toda a rede, permitindo que as plantas recebam a mesma quantidade de água, podendo a uniformidade de distribuição dos emissores ser afetada principalmente em áreas com algum declive. O sistema deve ainda apresentar um filtro imediatamente à saída do reservatório para diminuir o risco de entupimento das linhas e dos emissores.

Deve ter-se em atenção que as tubagens podem ser afetadas pelo sol (radiação ultravioleta), pela execução dos trabalhos nas culturas por máquinas agrícolas e pessoas e por animais, principalmente roedores.

4.3 Dimensionamento

Para efetuar o devido dimensionamento é necessário conhecer também os tipos de plantas que vamos cultivar, uma vez que a quantidade de água necessária varia com as várias espécies. Sabendo a quantidade de água necessária para cada planta, podemos determinar o tempo em que o sistema de rega irá estar ativo para cada secção diferente de plantas. As plantas com uma maior necessidade de água terão de ter o seu sistema de rega ligado por um período de tempo superior, satisfazendo assim a sua necessidade de água.

As necessidades hídricas das plantas, para o projeto de sistemas de rega, são as necessidades em período de ponta, ou seja na época de maior exigência hídrica, que ocorre no mês ou nos meses mais quentes. Em Portugal, por exemplo, ocorre no mês de Julho e, por vezes, em Agosto.

As necessidades hídricas de ponta são determinadas pelo balanço hídrico do solo, que é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração cultural. Como nos meses acima referidos não é habitual chover, as necessidades hídricas correspondem aos valores de evapotranspiração cultural.

A evapotranspiração cultural (ET_c) é o produto da evapotranspiração potencial (ET_p) pelo fator cultural (K_c) (Gustavo Cudell 2000).

$$ET_c = ET_p \cdot K_c$$

A evapotranspiração potencial é a quantidade máxima de água perdida por evaporação no solo e por transpiração das plantas. Pode-se determinar por diversas fórmulas, sendo que a de Penman (Surhone, Timplendon, e Marseken 2010) é a mais próxima da realidade. Podemos

ainda consultar tabelas com valores da evapotranspiração potencial para diversas localizações diferentes.

O fator cultural é um fator dependente do tipo de vegetação e do seu estado de desenvolvimento. São apresentados alguns valores típicos:

- Plantas tolerantes à secura $K_c = 0,35$
- Árvores $K_c = 0,6$
- Relva $K_c = 0,75$

4.4 Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento da tubagem e dos seus acessórios de ligação é feito em função do caudal que passa nos tubos, com uma perda de carga aceitável do ponto de vista hidráulico e económico.

Considerámos um tubo de diâmetro 32 mm para as linhas principais e um tubo de diâmetro 16 mm para as linhas secundárias, tendo como base as informações retiradas da dissertação da Ana Teresa Afonso (Afonso 2013).

A maior parte dos sistemas utiliza pressões na gama de 30 000 a 60 000 Pa (L Schwankl 1999), mas o nosso sistema irá funcionar apenas com a pressão hidrostática.

Os gotejadores podem estar inseridos na lateral do tubo ou em pequenos ramais derivados deste. Estão normalmente sobre a superfície do solo, podendo também estar enterrados a pequena profundidade (rega subterrânea) ou suspensos a pequena altura acima do solo.



Figura 29 – Gotejador (Testezlaf 2011)

A água à saída do gotejador vai-se distribuindo no solo de acordo com um determinado padrão de humedecimento que é função das características hidráulicas daquele.

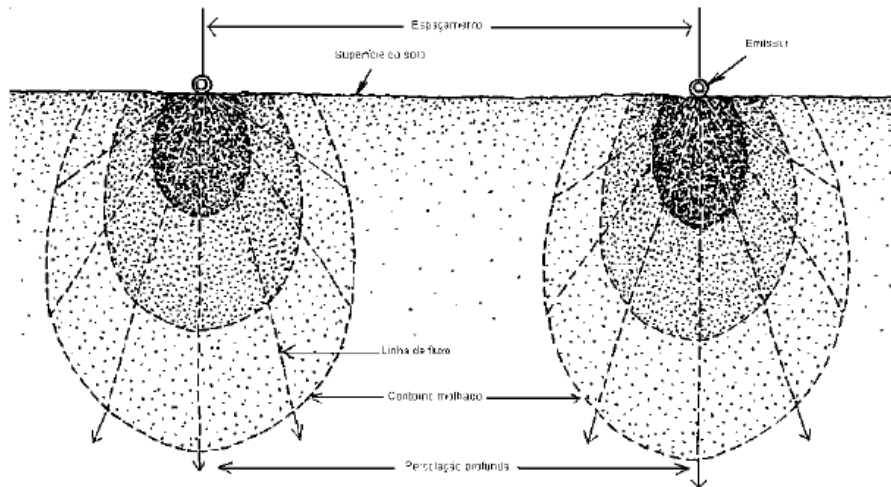


Figura 30 – Distribuição da humidade no solo a partir de um emissor (Testezlaf 2011)

Assim, temos que garantir que a distância entre os gotejadores é a recomendada para que se obtenha uma zona humedecida em forma de uma faixa (zona humedecida contínua). Caso o afastamento seja excessivo vamos ter zonas humedecidas de forma pontual. O espaçamento entre os gotejadores é dependente do tipo de solo (a sua textura e a estrutura) para que se obtenha uma faixa contínua.

4.5 Planeamento do espaço

Após determinados os diâmetros dos tubos, é necessário definir um *layout* da área de cultivo em conjunto com os reservatórios. Este *layout* vai depender do tipo de cultura e do espaço disponível. Na Figura 31 podem-se ver um exemplo possível com um reservatório central que servirá como alimentador dos diversos reservatórios responsáveis por fornecer a água para cada sector de plantas.

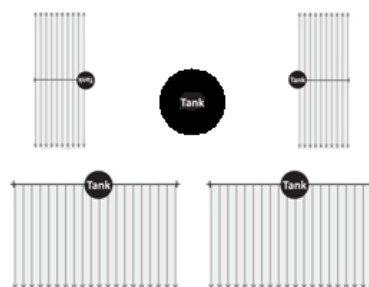


Figura 31 – Exemplo de um *layout* das áreas de cultivo (System)

4.6 Componentes e acessórios

Para a realização do sistema de irrigação gota-a-gota vamos considerar a produção de alguns acessórios que têm como função efetuar as ligações entre os vários tubos, os emissores e os equipamentos do sistema de rega.

Existem várias alternativas que permitem construir sistemas bastante complexos, devem também ser utilizadas peças de ancoragem nas mudanças de direção, nas derivações, nos tampões para permitir a fixação do sistema.

De forma a diminuir os custos de produção dos vários componentes vamos decidir por uma simplificação da sua geometria. Um desenho simples, sem reentrâncias e sem grandes variações ao longo da secção, permite que o molde que irá produzir a peça seja também mais simples. Assim, ficamos com um custo de execução das caixas de moldes mais económico e mais fácil.



Figura 32 – (à esquerda) Acessório curva 90° (à direita) Acessório curva 90° sem reentrâncias.

Por outro lado, a combinação de alguns componentes permite também obter o mesmo efeito, ou seja, um componente pode ser substituído por uma combinação de um ou mais componentes ligados em série. Desta forma conseguimos reduzir o seu número e o número de moldes para os produzir. Na Figura 33 podemos verificar que através da conjugação de alguns componentes podemos obter a mesma configuração. No primeiro caso uma cruzeta ou X pode



Figura 33 – Exemplos de redução do número de acessórios

ser substituída por dois T em série, no segundo exemplo um L pode ser substituído por um T com um tampão num dos terminais. Assim eliminamos a necessidade da construção de dois moldes para a criação dos componentes X e L.

5 Materiais disponíveis

É fundamental neste projeto a sua sustentabilidade e a aplicabilidade local. Desta forma damos importância aos materiais disponíveis localmente para a criação das tubagens em material compósito. Tentamos então aproximar os materiais em estudo para materiais que existam localmente. Alguns materiais disponíveis são a fibra natural de sisal, o polímero de origem vegetal colofónia.

5.1 Sisal

O sisal (*Agave Sisalana*) é uma espécie nativa da península de Yucatan, no México, onde é conhecida pelo nome Maia de “Yaxci”. Esta planta é cultivada em regiões semiáridas. As primeiras mudas (planta tirada do viveiro para plantação definitiva) foram levadas para o sul da Flórida (EUA) em 1834 e depois foram introduzidas na África Oriental. Supõe-se que o sisal, neste momento espalhado pelo mundo, tenha a mesma origem (Medina 1954).



Figura 34 – A planta de sisal (Wikipedia)

As fibras de sisal pertencem ao grupo das fibras estruturais, cuja função é dar sustentação e rigidez às folhas. A obtenção das fibras pode ser efetuada ao longo de todo o ano, tendo apenas que se ter o cuidado de deixar as folhas mais novas. As fibras são extraídas das folhas através de um processo que utiliza uma máquina desfibradora, que separa as folhas e as fibras da planta. Este processo pode também ser feito manualmente por meio de raspadores. Cada folha contém apenas 3 a 5 % em peso de fibras, o restante são resíduos que podem ser utilizados como adubo orgânico ou ração para animais.

As fibras de sisal são constituídas por fibras elementares que têm 4 a 12 μm de diâmetro e cada folha contém aproximadamente cerca de 1000 fibras.

Tabela 4 – Propriedades mecânicas do Sisal ("CES Edupack 2013" 2013)

<i>Propriedade</i>	<i>Sisal</i>
Tensão de rotura à flexão (σ_f) [MPa]	511-640
Alongamento até à rotura [%]	2-7
Módulo de Young (E) [GPa]	9,4-22

5.2 Resina de colofónia

A resina de colofónia é um subproduto da resina de pinheiro, sendo portanto um produto de origem vegetal. É um tipo de resina que se obtém a partir de espécies vegetais da família das *Pinaceae* (*Pinus palustris* e outras espécies, como *Pinus pinaceae*) (Olivares-Pérez et al. 2005). A colofónia é normalmente obtida a partir de incisões nos caules das árvores, podendo no entanto ser obtida por outros dois métodos. Pode ser obtida utilizando solventes alifáticos de baixos pontos de ebulição, a partir de ramos e troncos de madeira de pinho, ou através da destilação fracionada da resina líquida (um subproduto da indústria da celulose).

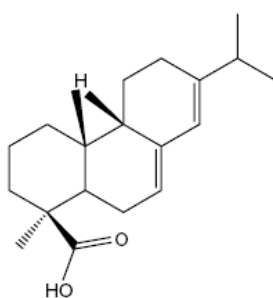


Figura 35 – Estrutura básica ($\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}_2$) (Olivares-Pérez et al. 2005)

A resina de colofónia é constituída essencialmente (cerca de 90%) por ácidos resínicos, de fórmula $C_{20}H_{30}O_2$.

A resina apresenta vários constituintes. As quantidades relativas destes constituintes variam com alguns fatores, como o clima na zona de crescimento da planta e o método de obtenção da colofónia.

A cor da resina de colofónia é uma das suas características mais importantes, uma vez que é um bom indicador do seu grau de pureza. A cor está também dependente da espécie vegetal de onde é extraída e também do processo de obtenção.

A classificação de cor utilizada a nível mundial é a *Gardner* (normas ISO 4630-1:2004 – Clear liquids – Estimation of colour by Gardner colour scale – Part 1: Visual method e ISO 4630-2:2004 – Clear liquids – Estimation of colour by Gardner colour scale – Part 2: Spectrophotometric method).

São definidos 18 índices de cor, que são referenciados pelos algarismos 1 a 18. Para as resinas de colofónia, é estabelecida uma equivalência entre os índices *Gardner* e os graus das resinas segundo a norma portuguesa NP 99, que se enquadra entre os índices 3 e 15.

As cores das resinas de colofónia variam entre o branco ligeiramente amarelado e o castanho muito escuro.

Na Figura 36 mostra-se a correspondência da cor *Gardner* com alguns graus de resina colofónia e ilustra a variação de cores.

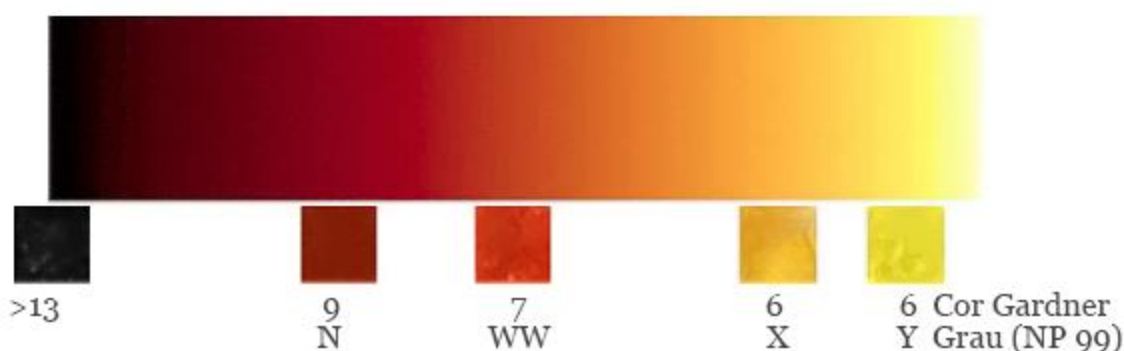


Figura 36 – Correspondência da cor *Gardner* com o grau da resina colofónia. ("Resina de colofónia")

Na Tabela 5, apresentam-se as especificações técnicas da resina de colofónia que foi fornecida pela Eurochemicals Portugal S.A..

Tabela 5 – Propriedades da resina colofónia fornecida pela Eurochemicals Portugal S.A (Afonso 2013)

<i>Propriedades</i>	<i>Valor</i>	<i>Método</i>
Cor	WW/WG	ASTM D509
Cor Gardner (50% toluene)	4/5	ASTM D1544
Ponto de amolecimento (R.B.)	70/71	ASTM E28
Ácido abiético (%)	0.2/1.0	U.V Method
Ácido dehidroabiético (%)	45/55	U.V Method
Índice de acidez (mg KOH/g)	160-163	ASTM D465
Estado físico (25°C)	Sólido	-
Densidade	1.05 – 1.09 g/cm ³	-
Ponto de inflamação	< 200°C	-
Ponto de ebulição	> 200°C	-
Solubilidade	Insolúvel em água	-
	Solúvel em álcoois, ésteres e terebentina	
	Parcialmente solúvel em hidrocarbonetos alifáticos	

Existem vários processos para modificar a resina colofónia, alterando as suas propriedades químicas. A resina funde muito facilmente quando aquecida e é solúvel em álcool, ésteres e terebentina.

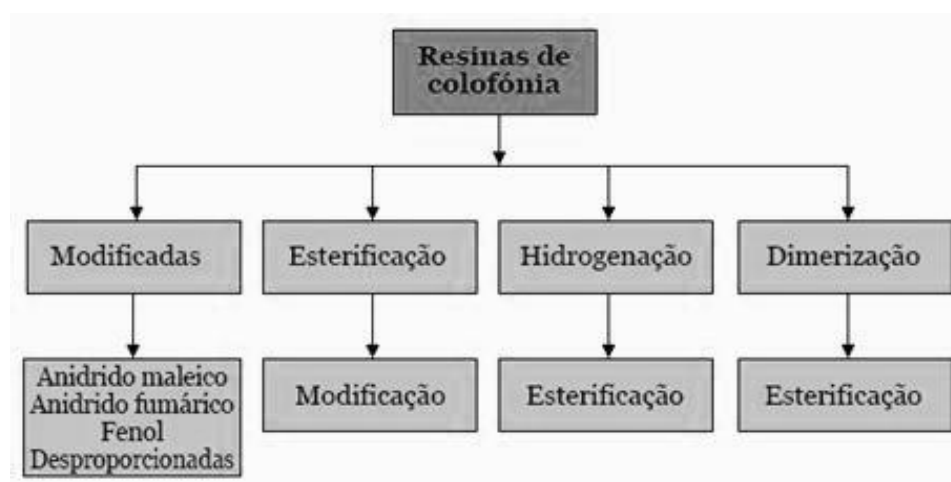


Figura 37 – Esquema dos processos de alteração da resina de colofónia ("Resina de colofónia")

As propriedades mecânicas apresentadas na Tabela 6 foram adaptadas utilizando os resultados obtidos nos ensaios de flexão realizados pela Ana Teresa Afonso. São apenas valores aproximados que nos dão uma sensibilidade do possível comportamento real da resina, já que quando foram realizados estes ensaios os provetes não apresentavam o tamanho normalizado para os mesmos. Com estes valores podemos estabelecer algumas comparações com outros materiais, com a ressalva de que iremos ter um erro considerável. Da análise da tabela podemos também comparar o comportamento da resina e o da resina com alguma fibra.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas da colofónia (Afonso 2013)

<i>Propriedade</i>	<i>100% Colfónia</i>	<i>90% Colofónia + 10% fibra</i>
Tensão de rotura à flexão (σ_f) [MPa]	2,86	11,04
Alongamento até à rotura [%]	0,340	1,793
Módulo de Young (E) [GPa]	1,080	0,971

6 Trabalhos experimentais

6.1 Introdução

Este capítulo dedica-se ao trabalho experimental realizado no âmbito desta tese. Durante esta fase foram bastante úteis os dados da caracterização dos materiais.

As informações sobre experiências obtidas em anos anteriores também ajudaram a iniciar o trabalho, com especial atenção a alguns aspetos como a dificuldade no manuseamento e no processamento dos materiais utilizados a fibra de sisal e a resina de colofónia.

Comecei então por analisar com alguma atenção os resultados da tese “Desenvolvimento Sustentável em Engenharia Mecânica Um caso de estudo: Projeto *Autarkeia*” (Afonso 2013). Analisei o manual da máquina de pultrusão da Pultrex Px 300-GT que existe nas instalações do INEGI, com o intuito de ficar a conhecer melhor alguns aspetos importantes da máquina. Fui também visitar a empresa ALTO – Perfis Pultrudidos, Lda para ver o processo de pultrusão em funcionamento em ambiente industrial.



Figura 38 – Máquina de pultrusão do Inegi (INEGI 2011)

Pensou-se em aplicar o processo de pultrusão para a criação dos tubos do sistema de rega e moldes para a criação dos acessórios. Aplicar o processo no local requer a existência de uma máquina de pultrusão. A seguir descrevem-se as etapas e são apresentadas as ideias que levaram ao desenvolvimento da máquina de pultrusão.

6.2 Testes de solubilidade da resina

Realizei alguns testes na tentativa de compreender melhor qual a melhor solução para dissolver a resina.

A mistura uniforme de uma substância líquida com capacidade de dissolver outras substâncias tem o nome de solução. A substância dissolvida é o soluto e a outra substância é o solvente. Em todas as soluções o soluto encontra-se em menor quantidade. A solubilidade de uma substância depende das suas propriedades físicas e químicas, da temperatura, da pressão e do pH da solvente.

Foram realizados testes de solubilidade com álcool e acetona como solventes. Foi efetuado um teste com água como confirmação. Comecei por tentar uma solução de resina colofônia com os diversos solventes, numa proporção de 50% de massa e fui reduzindo para tentar obter melhores propriedades.

Para evaporar o álcool podemos deixar a solução em repouso durante algum tempo. Para diminuir o tempo de evaporação podemos aquecer a mistura.

Os resultados destes testes foram os esperados tendo em conta o que foi lido sobre o material colofônia.

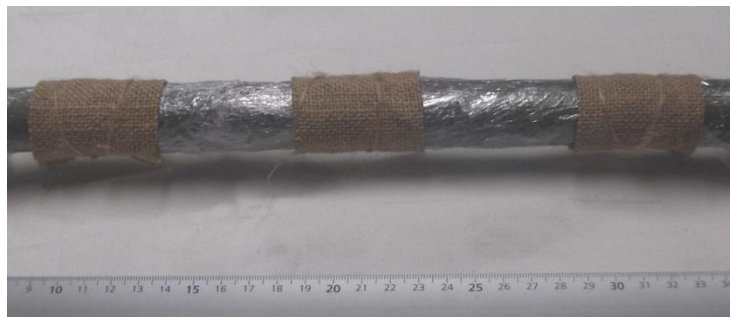


Figura 39 – Manta utilizada nos testes

Fiz depois três pequenos tubos utilizando em cada um dos tubos, 100% de colofônia, colofônia com acetona e colofônia com álcool.

Da experiência obtida durante a realização destes testes verifiquei que quando a resina é dissolvida em álcool ou em acetona estas demoram algum tempo a solidificar. Assim, seria interessante pensar numa espécie de estante ou mesa onde se poderiam colocar os tubos obtidos a secar para que se obtivesse a solidificação completa.



Figura 40 – Resultados obtidos (100% colofonia; colofonia com acetona; colofonia com álcool)

6.3 Criação de moldes

Para a criação dos diversos acessórios do sistema de irrigação, como as curvas e os divergentes (alteração de diâmetro), foi necessário idealizar moldes individuais.

Para o material dos moldes foi escolhida a madeira, pela sua disponibilidade no local e pela sua versatilidade como material de trabalho. É um material de fácil maquinagem e mesmo com ferramentas muito rudimentares é possível realizar algumas formas complexas.

A imagem apresentada de seguida mostra um exemplo de molde para a produção dos acessórios. Com este molde, pode-se produzir através do processo de deposição manual, metade de um acessório (curva a 90°). Com um molde idêntico cria-se a outra metade e junta-se para formar o acessório completo.



Figura 41 – Exemplo de um protótipo de um molde

6.4 Desmoldantes

Durante a utilização da resina verificou-se a necessidade da utilização de desmoldantes nos moldes de madeira. A resina fica agarrada à caixa do molde e as peças partem ao serem retiradas.

Desta maneira sugerem-se alguns materiais que podem vir a ser utilizados no local como desmoldantes naturais. Todo o tipo de folhas verdes podem ser possíveis de utilização como materiais desmoldantes.

6.5 União dos componentes

A união dos acessórios aos tubos poderia ser feita através de uma ligação simples topo a topo com um pedaço de manta misturado com resina, colocando uma tira de manta de fibra sobre a junta e impregnando com resina.

6.6 Determinação do número de fibras para produzir um tubo

Fez-se uma medição do diâmetro da fibra de sisal, de maneira a calcular aproximadamente a quantidade de fibras individuais necessárias para fazer um tudo completo. Para a realização desta estimativa utilizou-se como alvo o tudo de diâmetro 16 mm. A fibra de sisal existente no INEGI tem aproximadamente 1,5 mm de diâmetro.

No processo de pultrusão, as fibras vão estar orientadas no sentido longitudinal dos tubos, constituindo toda a parede dos mesmos. Para um diâmetro de 16 mm, calculamos o perímetro médio considerando também a dimensão das fibras (1,5 mm).

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot (8 + 0,75)$$

$$\text{Perímetro} = 54,98 \text{ mm}$$

Com o valor do perímetro médio dos tubos, o número de fibras necessárias para preencher completamente a superfície do tubo é então:

$$N = 54,98 / 1,5 = 36,65$$

Portanto o número de fibras necessárias é cerca de 37 fibras.

6.7 Determinação da largura da manta de reforço

A manta de reforço vai ser aplicada na zona exterior do tubo, sobre as fibras de sisal. O perímetro dessa zona, para um tubo de diâmetro 16 mm e com diâmetro de fibras de 1,5 mm fica:

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot (8 + 1,5)$$

$$\text{Perímetro} = 59,69 \text{ mm}$$

Portanto a manta terá de ter cerca de 60 mm de largura.

6.8 Requisitos

Os requisitos fundamentais da máquina de pultrusão passam pela facilidade de utilização e pela capacidade de produção em contínuo de tubos com um comprimento suficiente para colocar no sistema de rega.

6.9 Diferentes soluções e dificuldades

Durante o processo da geração da ideia para uma máquina artesanal para produzir os tubos baseada no processo de pultrusão, foram aparecendo várias dificuldades. Uma das dificuldades foi o tempo de solidificação da resina depois de aquecida ser muito curto: desta forma, a resina ficava completamente no estado sólido entre a fase de molhagem das fibras e a entrada na feira inviabilizando o processo. A necessidade de aquecimento foi também uma das razões para a tentativa de encontrar outro tipo de solução. A solução encontrada para a resolução destes problemas foi a utilização de resina misturada com álcool.

Outro tipo de problema era relacionado com as propriedades mecânicas dos tubos produzidos por este método. Ter as fibras alinhadas longitudinalmente é bom no caso de termos

solicitações à tração, mas os tubos ficam com pouca resistência para todos os outros tipos de solicitações. A solução passa por uma manta aplicada como revestimento na superfície exterior dos tubos, tendo como finalidade dar esse tipo de integridade e resistência aos mesmos. A dificuldade, neste caso era, como fazer a aplicação desta manta. Várias ideias foram surgindo, uma das quais, fazer a aplicação da manta enrolando-a após a saída do tubo (apenas com as fibras longitudinais) da feira, neste caso sem esta ser impregnada em resina, aproveitando alguma da resina excedente.

No entanto, a solução adotada foi colocar aplicar a manta juntamente com as fibras, passando a por algumas ranhuras que a guiam até entrar na feira, absorvendo a resina em excesso das fibras, ou estudar a possibilidade de a manta também passar pelo banho de resina.

O processo deve ser o mais contínuo possível, produzindo tubos com um comprimento razoável sem a necessidade de paragens ou tempos mortos. Para resolver este assunto, pensei na combinação de dois rolos que irão fazer a tração dos tubos alternadamente, existem duas garras que se fixam aos tubos (fibras numa situação inicial) e através de um movimento de rotação de uma manivela puxam-se os mesmos.

Admitiu-se também a possibilidade de se efetuar a impregnação das fibras dentro da próprio feira, injetando a resina. No entanto, sem a existência de uma pressão não seria possível fazer com que a resina entrasse e impregnasse totalmente as fibras dentro da feira, tendo sido esta ideia abandonada.

6.10 Solução encontrada

As imagens apresentadas de seguida mostram alguns desenhos da máquina de pultrusão artesanal. Vou também explicar alguns dos conceitos que estão relacionados com a mesma.



Figura 42 – Imagem da máquina de pultrusão artesanal

A máquina completa apresenta vários componentes que vão ser apresentados e explicados de seguida.

A máquina tem um suporte onde estão os rolos das fibras e das mantas de reforço. Este suporte apresenta uma configuração na vertical para permitir um maior número de rolos numa área menor (tendo em consideração que a altura deve ser de tal ordem que permita a substituição dos rolos sem dificuldade). Poderão ser utilizados mais suportes e colocados ao lado para permitir atingir o número de rolos necessários para a produção dos tubos (um tubo com um maior diâmetro necessita de um maior número de fibras). Os rolos são suportados por pequenos veios que são apenas pousados nos apoios que apresentam uma configuração em U que permite a colocação e substituição dos rolos de uma forma simples.



Figura 43 – Pormenor do suporte dos veios que suportam os rolos de fibra

Por fim, a sequência recomendada para a colocação dos rolos será, dois rolos de manta (um colocado na parte superior, outro na parte inferior do suporte central) e os rolos das fibras serem distribuídos da forma mais uniforme possível. Desta forma reduzimos o risco de cruzamento das fibras durante o processo.

Manta
1
5
3
7
(...)
4
6
2
Manta

Figura 44 – Exemplo de esquema de colocação dos rolos



Figura 45 – Imagem do suporte das bobines

Na secção da máquina seguinte situa-se o tanque de resina. Esta secção apresenta duas placas, uma na entrada e outra na saída, com rasgos e furos por onde são guiadas as fibras e as

mantas. As fibras entram alinhadas e depois do banho são forçadas de forma a chegarem à entrada da feira com uma geometria mais aproximada da sua forma final. Os furos e os rasgos são boleados para diminuir o risco de uma fibra se partir. A sequência de introdução das fibras nos furos deve também ser o mais uniforme possível.

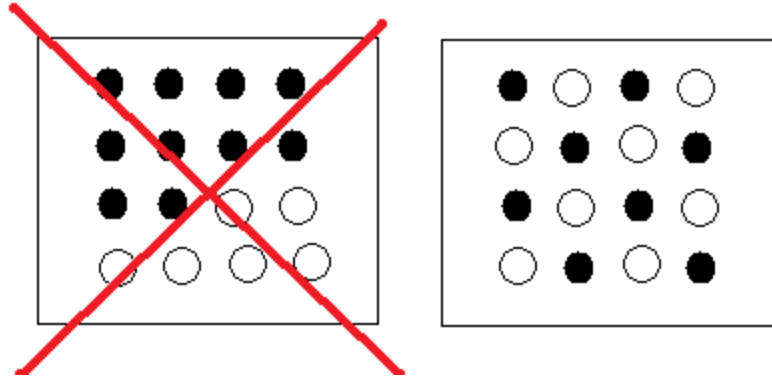


Figura 46 – Esquema simplificado da distribuição das fibras⁷

Num design mais desenvolvido poderá existir a possibilidade de controlar a distância das placas de forma a controlar melhor e fazer diminuir o atrito das fibras e mantas nos furos fazendo com que estas descrevam uma curva mais suave sem grandes mudanças de inclinação.



Figura 47 – Zona do tanque da resina

Depois temos a zona da feira. Esta zona apresenta um conjunto de uma feira ou caixa molde e um mandril substituíveis (permitindo criação de diversos diâmetros), que nos irão dar a geometria e o diâmetro final do tubo. A feira é fixada à mesa com recuros a cordas,

permitindo uma pequena folga de forma a existir um autoajuste dessa forma para minimizar o risco de encravamento das fibras no interior da feira.

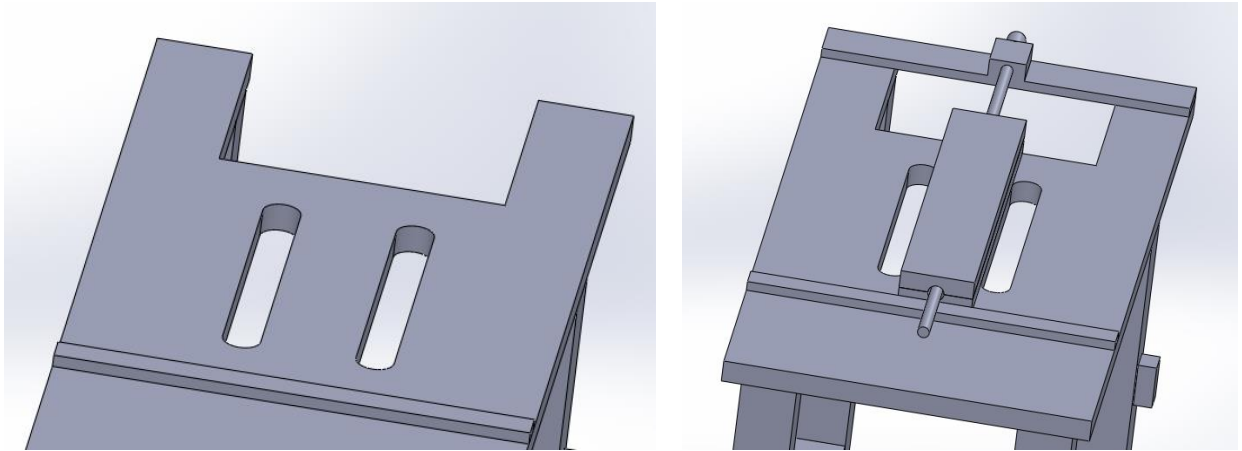


Figura 48 – Pormenor do local onde é colocada a feira (sem feira à esquerda, com feira à direita)

Pode ser colocado um recipiente sob a zona de entrada das fibras para recolher possíveis excessos de resina que caiam, fazendo o reaproveitamento da mesma.



Figura 49 – Zona da feira

Por fim, temos a zona da tração. Esta zona é constituída por um par de manivelas que são responsáveis pela tração dos tubos. As manivelas estão solidárias com dois cilindros e são acionadas manualmente. O movimento das manivelas é independente controlando apenas cada um dos seus referentes cilindros. Os cilindros têm uma corda que com o movimento rotativo vai ser enrolada puxando uma garra que está fixa no final da mesma. Essa garra é presa ao tubo que está a ser fabricado.



Figura 50 – Zona de tração

Apresentamos ainda, um detalhe de uma das garras. As garras que abraçam o tubo e são fixas com um fecho de mola (não representado). As garras que irão ser guiadas por uma calha como se pode ver na **Error! Reference source not found.**



Figura 51 – Garra



Figura 52 – Detalhe da calha

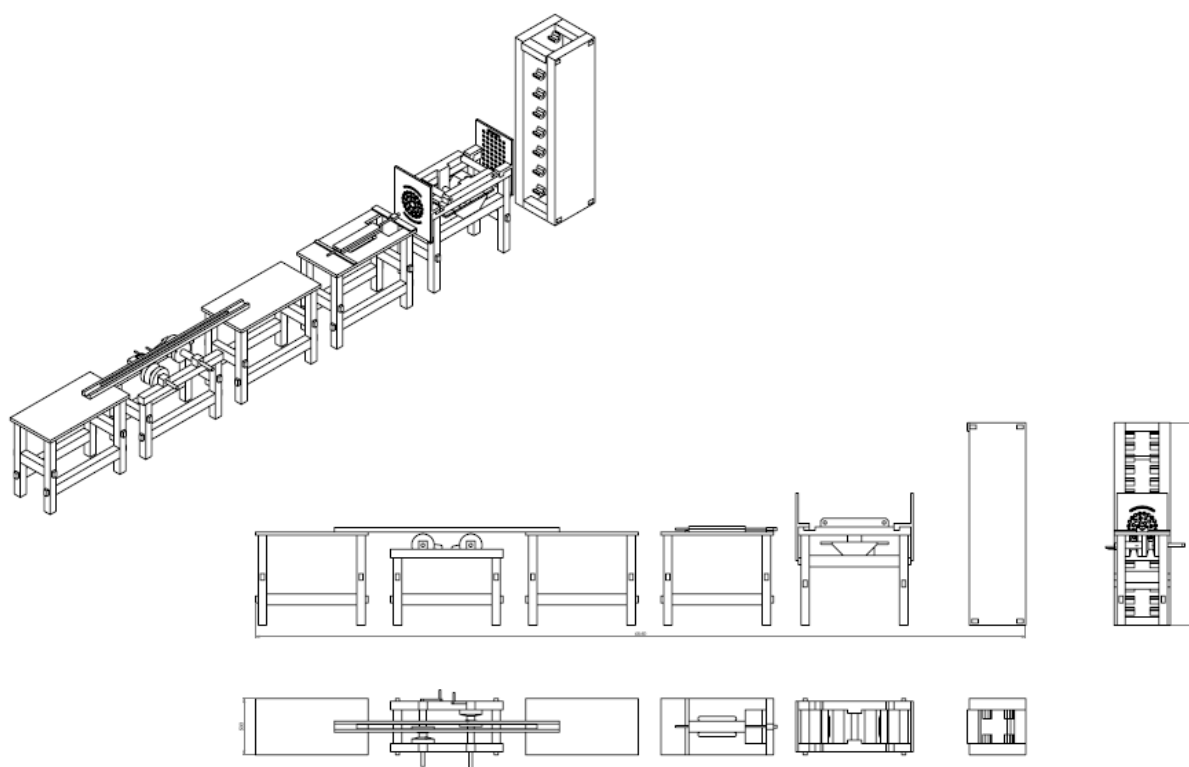


Figura 53 – Máquina completa (Desenho 2D e 3D)

6.11 Modo de funcionamento do sistema

O sistema tem que ter um funcionamento simples de forma que todas as partes sejam fáceis de controlar.

Estimo que sejam necessárias duas pessoas para fazer funcionar a máquina. Inicialmente terá de ser feita a preparação. O sistema terá de ser alimentado com 34 rolos de fibras de sisal e 2 rolos de manta de reforço, para um tubo com diâmetro de 16 mm. Estas bobinas são colocadas nos suportes. Faz-se o enchimento do tanque de resina com a solução de resina. Encaminham-

se as fibras através dos orifícios das placas guia (uma fibra por cada orifício), o mesmo para as mantas (passando as mesmas pelas ranhuras correspondentes), dos veios na zona do tanque e finalmente através da fieira. Prende-se todo o conjunto de fibras e mantas a uma das garras.

O modo de funcionamento é então movimentar a garra que prende o conjunto de fibras e mantas, rodando a manivela. Enquanto uma pessoa fica a rodar a manivela, a outra irá prender a garra num ponto mais atrás, ficando assim as duas garras fixas por uns instantes e depois a primeira é libertada. Estas etapas serão então repetidas. Deste modo o sistema funciona em contínuo, sendo as fibras impregnadas no banho de resina antes de entrarem na fieira. Os tubos podem depois ser cortados quando o comprimento desejado tiver sido atingido. Caso existam zonas do tubo que estejam secas após a passagem pela fieira, pode-se recorrer a uma molhagem superficial utilizando um pincel.

6.12 Cuidados de manutenção do sistema

O sistema tem facilidade de acesso aos diferentes componentes, para que em caso de avaria de alguma peça a reparação ou substituição seja acessível. A longo prazo a manutenção será apenas ter atenção a todas as partes móveis e a algumas zonas mais críticas, como por exemplo, os suportes dos rolos, que poderão ser sujeitos a alguns esforços.

Como manutenção mais regular, deverá ser feita uma limpeza da fieira e de todas as peças que estão em contacto com a resina, de forma a manter o sistema operacional. Tentei ter o cuidado de atribuir às peças que fazem parte da máquina uma geometria simples e com ligações simples.

6.13 Riscos e medidas de segurança

No local de trabalho devem ser sempre tomadas precauções adequadas, para garantir que este é seguro e isento de riscos para a saúde dos trabalhadores que operam a máquina.

A implementação das medidas de segurança tem como objetivo prevenir acidentes de trabalho.

Deve-se verificar regularmente o bom estado de conservação dos equipamentos móveis e detetar eventuais avarias de funcionamento de forma a tentar corrigir essas anomalias.

Neste caso a máquina de pultrusão durante o funcionamento apresenta partes móveis, é também necessário proceder ao corte dos tubos e é necessário ter atenção a estas situações.

7 Tecnologias apropriadas

A intervenção em Malonguete, e noutras zonas similares, exige um processo muito complexo e com vários intervenientes. É um procedimento bastante moroso e com alguma exigência. É necessária a cooperação de várias entidades e pessoas de forma a conseguir-se alcançar uma solução para a falta de água.

7.1 Redução dos custos do sistema de irrigação e da atividade envolvente

Alguns dos componentes constituintes do sistema de irrigação e com a atividade envolvente podem ser muito dispendiosos. Assim, é necessário adotar uma política de conservação e manutenção do sistema, procurar alternativas mais sustentáveis para alguns dos componentes e encontrar soluções para os desperdícios que são produzidos durante toda a atividade, tentando um equilíbrio entre as necessidades do sistema e uma possível utilização do conceito de tecnologias apropriadas para a resolução dessas mesmas necessidades.

Uma medida importante é a colocação de um filtro na entrada do sistema de irrigação, num local amplo e de fácil acesso, para facilitar os trabalhos de manutenção. O filtro deve ser cuidadosamente selecionado e dimensionado para garantir o bom funcionamento dos emissores à saída do sistema. O filtro permite a recolha de partículas sólidas em suspensão na água que, ao entrarem no sistema de rega, poderão provocar o entupimento dos tubos ou gotejadores, comprometendo assim toda a unidade de distribuição de água. Esse bloqueio implica também problemas de manutenção, o aumento dos custos de operação e tempo de paragem para reparação.

Pode-se então optar pela realização de um processo de filtragem antes de a água ir para os reservatórios, utilizando um filtro artesanal com areia de várias granulometrias. Em algumas situações pode existir uma grande quantidade de matéria em suspensão, pelo que pode ser interessante proceder a uma pré-filtragem da água, evitando o excesso de manutenção desses

filtros artesanais. Esta pré-filtragem pode ser feita por decantação ou utilizando uma tela de malha grossa.

A criação do próprio fertilizante é um caminho para a diminuição e valorização da matéria orgânica excedente através do processo de compostagem. Este processo consiste na decomposição dos resíduos em excesso por ação de microrganismos que na presença de oxigênio (processo aeróbico), originam uma substância designada composto. O composto que se obtém no final do processo pode ser utilizado como adubo melhorando substancialmente a estrutura do solo. O composto possui fungicidas naturais e organismos benéficos que ajudam a eliminar os organismos patogênicos que perturbam o solo e as plantas. É um processo que não requer conhecimentos técnicos, é simples, econômica e ecologicamente sustentável, uma vez que implica a redução de alguns resíduos domésticos através da sua transformação num composto fertilizante que pode ser usado como nutriente e corretivo do solo.

Existem vários tipos de compostores. Contudo, para se realizar o processo de compostagem não necessita, obrigatoriamente, de um compostor. É apenas necessário um local onde se possa amontoar o material a compostar, dando-lhe a forma de uma pilha/pirâmide, com aproximadamente 2 m de diâmetro na base e pelo menos 1 m de altura. Pilhas com dimensões mais reduzidas não aquecem o suficiente para que o processo de decomposição ocorra de forma adequada.

Outra forma de decompor os materiais orgânicos sem usar um compostor consiste em abrir um buraco na terra com cerca de 60 cm de diâmetro e 35 cm de profundidade e aí colocar os resíduos orgânicos, cobrindo-os de seguida com uma camada de terra ou folhas secas.

No entanto, um compostor apresenta a vantagem de ajudar a reter o calor, acelerando o processo de compostagem. É possível criar um compostor com poucos materiais a um preço bastante acessível.

Os resíduos que podem ser utilizados na compostagem são todos os materiais orgânicos que contêm uma mistura de carbono (C) e nitrogénio (N), conhecida como razão C:N. Os resíduos classificam-se em castanhos e verdes: Os resíduos castanhos contêm a maior proporção de carbono, sendo geralmente secos e os resíduos verdes têm a maior proporção de nitrogénio, sendo geralmente húmidos. Para que o processo decorra da melhor forma, é necessário uma grande variedade de resíduos.

7.2 Breves sugestões para melhoria do bem-estar

7.3 Obtenção de água potável

A obtenção de água potável é um fator essencial para o ser humano. Em locais onde a escassez de água é uma realidade e todos os recursos devem ser aproveitados ao máximo.

Um método de obter água é utilizando um condensador de água. O princípio de funcionamento é o seguinte: o calor solar eleva a temperatura do ar e do solo debaixo de um lençol de plástico até o ar ficar saturado de vapor de água. Este condensa-se em gotículas na superfície interior mais fresca do plástico e escorre lentamente para um recipiente colocado no centro. É um processo lento e obtém-se entre 0,5 a 1 litro por dia (Clube de Montanhismo de Braga 2012).

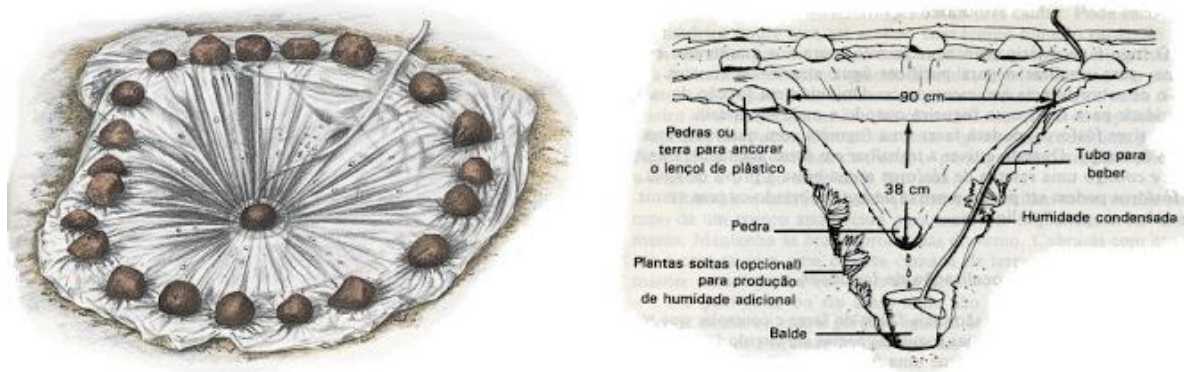


Figura 54 – Condensador de água (Clube de Montanhismo de Braga 2012)

Pode-se também obter água através da colocação de um saco de vegetação ou de transpiração. O princípio de funcionamento é simples, consiste no corte de alguma vegetação verde ou simplesmente a colocação de um saco num ramo de uma árvore com vegetação. A perda de água pelas plantas, na forma de vapor, produzirá a condensação no interior do saco. Um peso no saco ajuda a orientar o sentido das gotículas de água (Clube de Montanhismo de Braga 2012).

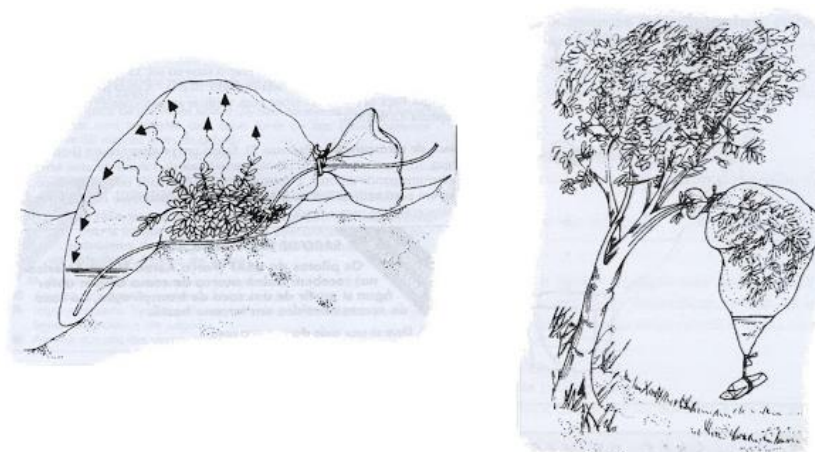


Figura 55 - Saco de vegetação (Clube de Montanhismo de Braga 2012)

Pode-se recolher a água da chuva colocando um pano enrolado num ramo inclinado e fazendo com que um dos extremos do pano escorra para um recipiente.



Figura 56 – Recolha da água da chuva (Clube de Montanhismo de Braga 2012)

Para proceder a uma filtragem. Colocam-se diferentes panos atados num tripé com ervas, areia e carvão, despejando-se a água no filtro e fazendo a recolha novamente noutro recipiente colocado sob o filtro. A água deverá sair quase clara, caso contrário, pode ser filtrada novamente. Este processo de filtragem não purifica a água mas apenas remove as partículas sólidas.

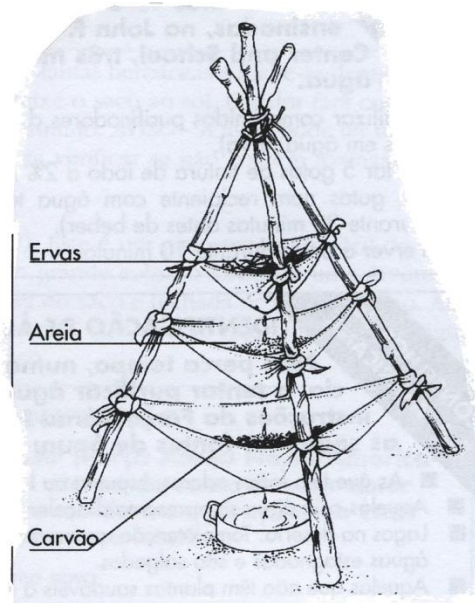


Figura 57 - Filtro artesanal (Clube de Montanhismo de Braga 2012)

A desinfecção solar da água é um método que utiliza os raios ultravioletas do sol para fazer a desinfecção da água. A água é colocada dentro de garrafas plásticas transparentes e expostas à radiação solar.



Figura 58 – Desinfecção solar na Indonésia (Wikipedia)

7.4 Implementação no local

De seguida mostram-se algumas ideias úteis para as comunidades aplicarem de maneira a facilitar a implementação do conceito:

Ideias simples como ter pequenos reservatórios de reserva para manter o escoamento;

Como sistema de paragem do sistema de rega;

Utilizar uma tampa que se mantenha na posição com a própria pressão da água;

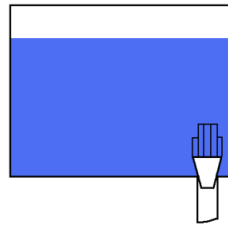


Figura 59 – Tampa para parar o funcionamento do sistema de rega

Uma pequena bóia que permita definir tempos de rega ou avisar da necessidade de reabastecimento do reservatório.

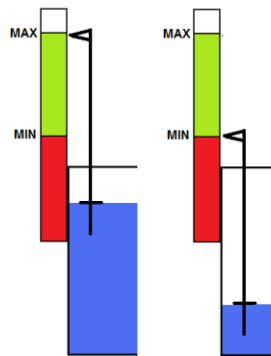


Figura 60 – Exemplo do funcionamento da bóia

7.5 Como construir um conjunto de ferramentas

A “*Engineering for Change*” criou um pequeno conjunto de ferramentas. A vida fica mais difícil sem algumas ferramentas que são normalmente úteis e um pequeno conjunto de ferramentas pode ser extremamente caro em algumas zonas rurais de alguns países. Num pequeno conjunto de textos criados pela “*Engineering for Change*” (Engineering for Change 2012) são explicados os passos de como fazer peças como alicates, brocas, cinzéis, etc.



Figura 62 - Algumas ferramentas artesanais (Engineering for Change 2012)

Uma possível ideia passa por dar a possibilidade da máquina de pultrusão operar através do movimento de pedais, adaptando uma bicicleta e não causar tanto desgaste aos operários.

Temos também a possibilidade de aplicar o mesmo princípio na bomba de corda como se vê na imagem.



Figura 61 – Bomba de corda operada com uma bicicleta (Maya pedal 2010)

Nos exemplos seguintes podemos ver uma máquina de moldação por centrifugação em madeira e um torno manual.

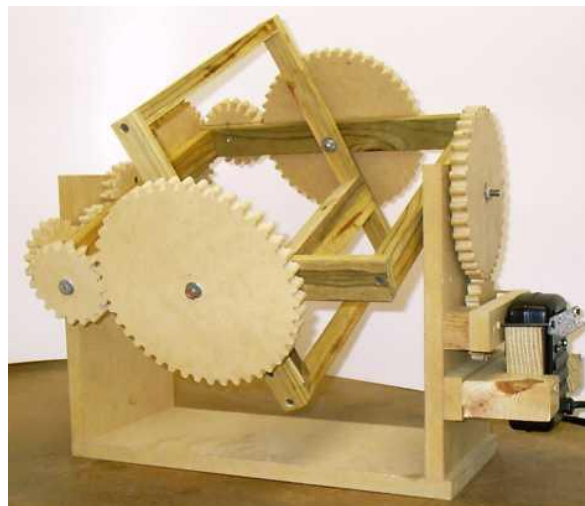


Figura 63 – Máquina de moldação por centrifugação em madeira (Steele 2014)



Figura 64 – Exemplo de um torno manual

8 Conclusões e trabalhos futuros

Durante a realização da tese encontrei bastantes dificuldades devido às características particulares deste assunto, que envolvia um tema bastante delicado.

É um tema que relaciona muitas áreas e várias valências, com cada uma a desempenhar um papel fundamental para se conseguir uma conclusão satisfatória. É um projeto que leva muito tempo a estudar e conseguir desenvolver até que seja possível aplicar eficazmente de uma forma prática, conseguindo uma gestão sustentável dos recursos.

A minha sugestão é apenas uma ideia possível para um futuro protótipo e é assunto que carece de mais alguns testes e mais experiências, que levarão a melhorias no conceito final. Seriam necessários mais ensaios mecânicos para determinar melhor as características mecânicas dos materiais e possivelmente até procurar outras alternativas como termos de comparação.

Os trabalhos futuros podem apresentar vários caminhos, passando pela nova caracterização dos materiais e criação de um protótipo funcional para testes.

9 Referências e Bibliografia

- A grama da vizinha. 2014. "Mapa de Moçambique." Em.
- Abdalla, F. H., S. A. Mutasher, Y. A. Khalid, S. M. Sapuan, A. M. S. Hamouda, B. B. Sahari e M. M. Hamdan. 2007. "Design and fabrication of low cost filament winding machine." *Materials & Design* no. 28 (1):234-239. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306905001743>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2005.06.015>.
- ADN FEUP. 2011. "E se falássemos de Engenharia para todos?". Acedido a 11/04/2014. http://paginas.fe.up.pt/~adn/index.php?option=com_k2&view=item&id=68:engenharia-em-prol-da-humanidade&Itemid=56.
- Afonso, Ana Teresa. 2013. *Desenvolvimento sustentável em engenharia mecânica Documento electrónico*. Porto:: FEUP.
- AL-QURESHI, Hazim A. 1988. "Composite materials: fabrication and analysis." *Composite Materials: Fabrication and Analysis*.
- ALTO - Perfis Pultrudidos, Lda. . "ALTO - Perfis Pultrudidos, Lda. ". <http://alto.pt/>.
- Askeland, D. e P. Fulay. 2005. *The Science & Engineering of Materials*. Cengage Learning.
- Baran, Ismet, Cem C. Tutum e Jesper H. Hattel. 2013. "The effect of thermal contact resistance on the thermosetting pultrusion process." *Composites Part B: Engineering* no. 45 (1):995-1000. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836812005999>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.049>.
- Beattie, Parker, Read & Williams. 2009. " Rope-pump System Modelling Using Alternative Power Combinations".
- Burt, C., S.W. Styles, San Luis Obispo. Irrigation Training California Polytechnic State University e Research Center. 2007. *Drip and Micro Irrigation Design and Management: For Trees, Vines, and Field Crops : Practice Plus Theory*. Irrigation Training and Research Center.
- Calzadilla, Alvaro, Tingju Zhu, Katrin Rehdanz, Richard S. J. Tol e Claudia Ringler. 2014. "Climate change and agriculture: Impacts and adaptation options in South Africa." *Water Resources and Economics* no. 5 (0):24-48. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212428414000103>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wre.2014.03.001>.
- Cerqueira, José Carlos Machado. 2008. *Monitorização do fluxo no processo de moldação por transferência de resina (RTM)*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- "CES Edupack 2013." 2013.
- Chawla, K.K. 2012. *Composite Materials: Science and Engineering*. Third Edition ed.: Springer.
- Clube de Montanhismo de Braga. 2012. "A importância da água na prática do montanhismo (2ª parte)". http://clubemontanhistodebraga.blogspot.pt/2012/05/importancia-da-agua-na-pratica-do_7093.html.

- Corps, Peace. 1994. "Irrigation Reference Manual." Acedido a 23/08/2014. <http://www.nzdl.org/gsd/collect/envl/archives/HASH01d3.dir/p123.gif>.
- Crawford, R.J., R.J. Crawford e J.L. Throne. 2001. *Rotational Molding Technology*. Elsevier Science.
- Daniel, I.M. e O. Ishai. 2006. *Engineering Mechanics of Composites Materials*. Oxford University Press, Incorporated.
- demotech. "RopePump ". <http://www.demotech.org>.
- divingincommunities. "divingincommunities." <http://divingincommunities.wordpress.com/autarkeia/>.
- Engineering For Change. "Engineering For Change". Acedido a 14 de Maio de 2014. <https://www.engineeringforchange.org/>.
- . 2012. "How to make a village tool set." https://www.engineeringforchange.org/news/2012/08/07/how_to_make_a_village_tool_set.html.
- Engineers Without Borders International. "Engineers Without Borders International". Acedido a 14 de Maio de 2014. <http://www.ewb-international.org/>.
- Envis centre. 2003. "Development Alternatives". Acedido a 29/05/2014. <http://www.daenvis.org/images/motorropepump6.jpg>.
- FAO, Governo de Moçambique. 2009. "Quadro das Demandas e Propostas de Guiné-Bissau para o Desenvolvimento de um Programa Regional de Cooperação entre Países da CPLP no domínio da Luta contra a Desertificação e Gestão Sustentável das Terras."
- Faruk, Omar, Andrzej K. Bledzki, Hans-Peter Fink e Mohini Sain. 2012. "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010." *Progress in Polymer Science* no. 37 (11):1552-1596. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670012000391>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>.
- Franck, R R. 2005. *Bast and Other Plant Fibres*. Elsevier Science.
- Fridell, R. 2008. *Protecting Earth's Water Supply*. Lerner Publications Company.
- Goyal, M.R. 2012. *Management of Drip/Trickle or Micro Irrigation*. Apple Academic Press.
- Gustavo Cudell, Lda. 2000.
- Hill, C. e G. Jones. 2012. *Strategic Management: An Integrated Approach*. Cengage Learning.
- INEGI. 2011. http://www.inegi.up.pt/imagens/media/1_7_23_compositos2.jpg.
- L Schwankl, T.P. 1999. *Drip Irrigation in the Home Landscape*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Communications Services - Publications.
- LIFESAVER Systems Ltd. 2007. Acedido a 26 de Junho de 2014. <http://www.lifesaversystems.com/>.
- lifestraw. "lifestraw." <http://www.buylifestraw.com/>.
- "Mapa de Moçambique." Acedido a 18 de Abril de 2014. <http://www.africa-turismo.com/mapas/mocambique.htm>.
- martinpultrusion. "martinpultrusion". <http://www.martinpultrusion.com/technology.html>.
- Massachusetts Institute of Technology. "D-Lab". Acedido a 14 de Maio de 2014. <http://d-lab.mit.edu/>.
- . "D-Lab Fuel from the Fields: Charcoal Background." Acedido a 5 de Julho de 2014. https://d-lab.mit.edu/sites/default/files/Charcoal_BG.pdf.
- mawama. <http://www.mawama.org/>.
- Maya pedal. 2010. "Rope Pump". <http://www.mayapedal.org/machines.en>.

- Medina, M.C. 1954. *O sisal*. Diretoria de Publicidade Agrícola.
- Meira Castro, Ana C., Joao P. Carvalho, Maria C. S. Ribeiro, João P. Meixedo, Francisco J. G. Silva, António Fiúza e Maria L. Dinis. 2014. "An integrated recycling approach for GFRP pultrusion wastes: recycling and reuse assessment into new composite materials using Fuzzy Boolean Nets." *Journal of Cleaner Production* no. 66 (0):420-430. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613007105>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.030>.
- Memon, Anin e Asami Nakai. 2013. "Mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Tubular Braided Composite by Pultrusion Molding." *Energy Procedia* no. 34 (0):818-829. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213010618>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.818>.
- MIT News. 2012. "Bringing the World to Innovation." https://due.mit.edu/sites/default/files/news_images/Dec12_AmySmith_spotlight.jpg.
- Mitschang, P. e M. Christmann. 2012. "8 - Continuous fiber reinforced profiles in polymer matrix composites." Em *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*, editado por Suresh G. Advani e Kuang-Ting Hsiao, 209-242. Woodhead Publishing.
- Molden, D., M. Vithanage, C. de Fraiture, J. M. Faures, L. Gordon, F. Molle e D. Peden. 2011. "4.21 - Water Availability and Its Use in Agriculture." Em *Treatise on Water Science*, editado por Peter Wilderer, 707-732. Oxford: Elsevier.
- Moura, Marcelo Francisco de Sousa Ferreira de, Alfredo Manuel Balacó de Moraes e António Gonçalves de Magalhães. 2006. *Materiais compósitos materiais, fabrico e comportamento mecânico*. Porto: Publindústria.
- Olivares-Pérez, A., J. C. Ibarra-Torres, M. Ortiz-Gutiérrez, M. Pérez-Cortés e I. Fuentes-Tapia. 2005. "Rosin (colophony) holograms sensitized with ammonium dichromate®." *Optical Materials* no. 27 (12):1825-1831. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925346704004185>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2004.07.018>.
- Paula, Carla Maria Sanches Scanavez de. 1996. *Estudo da influencia do tratamento químico de fibras de sisal na resistencia mecanica de compositos sisal* Editado por Edison Bittencourt. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas . Faculdade de Engenharia Química.
- "Portal de dados Moçambique". 2010. Acedido a 08 de Maio de 2014. <http://www.ine.gov.mz/pt/Dashboards>.
- Pretty, J.N. 1995. *Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-reliance*. Earthscan.
- Pretty, Jules N. 2002. *Agri-culture reconnecting people, land and nature*. London: Earthscan Publications.
- Quercus. "Quercus". Acedido a 14 de Maio de 2014. <http://www.quercus.pt/>.
- "Resina de colofónia". http://www.ctb.com.pt/?page_id=7174.
- Roth, D., R. Boelens e M. Zwartveen. 2005. *Liquid Relations: Contested Water Rights and Legal Complexity*. Rutgers University Press.
- Sá, A., Marques, M., Godinho Gouveia, D. 1972. Estado Português de Moçambique. Carta Dos Solos.
- Shekar, V. e West Virginia University. 2007. *Effect of Fiber Architecture on Properties of Pultruded Composites*. West Virginia University.
- Shen, Frank C. 1995. "A filament-wound structure technology overview." *Materials Chemistry and Physics* no. 42 (2):96-100. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/025405849501554X>. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0254-0584\(95\)01554-X](http://dx.doi.org/10.1016/0254-0584(95)01554-X).

- Shurtleff, W. e A. Aoyagi. 2011. *Henry Ford and his Researchers - History of their Work with Soybeans, Soyfoods and Chemurgy (1928-2011): Extensively Annotated Bibliography and Sourcebook*. Soyinfo Center.
- Silva, F. J. G., F. Ferreira, M. C. S. Ribeiro, Ana C. M. Castro, M. R. A. Castro, M. L. Dinis e A. Fiúza. 2014. "Optimising the energy consumption on pultrusion process." *Composites Part B: Engineering* no. 57 (0):13-20. doi: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836813005489>. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.09.035>.
- Sivakumar, M.V.K. e R.P. Motha. 2008. *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*. Springer.
- Smith, Amy. 2009. "How to make charcoal briquettes from agricultural waste". <https://www.youtube.com/watch?v=LqI63IEg3MM>.
- Smith, William F. 1998. *Principles of materials science and engineering*. Vol. 3rd ed 0009, McGraw-Hill Series in Materials Science and Engineering 0012. New York: McGraw-Hill.
- Steele, David. 2014. "Rotomold Machine". <http://solsylva.com/cnc/rotomolder.shtml>.
- Ströher, Gylles Ricardo, Edson Luiz Zaparoli e Cláudia Regina de Andrade. 2013. "Parabolic modeling of the pultrusion process with thermal property variation." *International Communications in Heat and Mass Transfer* no. 42 (0):32-37. doi: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073519331200293X>. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.12.010>.
- Surhone, L.M., M.T. Timpledon e S.F. Marseken. 2010. *Penman Equation*. VDM Publishing.
- System, Jain Drip Kit - Gravity. "Jain Drip Kit - Gravity System". <http://www.jains.com/irrigation/drip%20kit/drip%20kit.htm>.
- Testezlaf, Roberto. 2011. *Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações*.
- Ulrich, Karl T. 2007. *Product design and development*. Editado por Steven D. Eppinger. Vol. 4th ed 0010. Boston: McGraw-Hill International Editions.
- van der Zaag, Pieter, Dinis Juizo, Agostinho Vilanculos, Alex Bolding e Nynke Post Uiterweer. 2010. "Does the Limpopo River Basin have sufficient water for massive irrigation development in the plains of Mozambique?" *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* no. 35 (13-14):832-837. doi: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706510001555>. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.026>.
- Warner, D. e C. Seremet. 2008. *Best Practices in Water and Sanitation*. Catholic Relief Services.
- Water for Life Institute. 2014. "Water for Life". Acedido a 14 de Maio de 2014. <http://www.waterforlife.org/>.
- Wikipedia. "Sisal". <http://en.wikipedia.org/wiki/Sisal>.
- . "Solar water disinfection." http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_water_disinfection.
- Zhu, J., K. Chandrashekhara, V. Flanigan e S. Kapila. 2004. "Manufacturing and mechanical properties of soy-based composites using pultrusion." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* no. 35 (1):95-101. doi: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X03002616>. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.08.007>.

ANEXO A: Mapa de Moçambique ("Mapa de Moçambique")



ANEXO B: Carta de solos de Moçambique (Sá 1972)

